



सत्यमेव जयते

INDIAN AGRICULTURAL  
RESEARCH INSTITUTE, NEW DELHI.

I. A. R. I. 6.

MGIPC-88-45 AR/52-S 6-53-1,000.







VERHANDLUNGEN DER SECHSTEN KOMMISSION DER INTERNATIONALEN BODENKUNDLICHEN GESELLSCHAFT
--

COMPTES RENDUS DE LA SIXIÈME COMMISSION DE L'ASSOCIATION INTER- NATIONALE DE LA SCIENCE DU SOL
--

TRANSACTIONS OF THE SIXTH COMMISSION OF THE INTERNA- TIONAL SOCIETY OF SOIL SCIENCE
---

REDIGIERT VON:  
RÉDIGES PAR:  
EDITED BY:

OTTO FAUSER



ZÜRICH  
1957

TEIL B
--------

VOLUME B
----------

HERAUSGEGEBEN VON DER INTERNATIONALEN BODENKUNDLICHEN GESELLSCHAFT  
PUBLIÉS PAR L'ASSOCIATION INTERNATIONALE DE LA SCIENCE DU SOL  
EDITED BY THE INTERNATIONAL SOCIETY OF SOIL SCIENCE

Gedruckt - Imprimés - Printed  
Bern 1958



Hallwag Aktiengesellschaft Bern

## VORWORT

Der Teil A der Verhandlungen bei der dritten Tagung der 6. Kommission der Internationalen Bodenkundlichen Gesellschaft und ihrer Unterkommission für Moorböden in Zürich und Lausanne vom 2.—9. August 1937 ist im Heft 1 von Band XII, 1937, der Mitteilungen der Internationalen Bodenkundlichen Gesellschaft erschienen. Er enthält die Zusammenfassungen der rechtzeitig eingesandten Abhandlungen und diente der Vorbereitung der Tagung.

Der Teil B der Verhandlungen kann leider erst jetzt veröffentlicht werden, weil es sehr schwierig war, die zum Druck erforderlichen Mittel aufzubringen. Er enthält die 63 für die Tagung eingegangenen Abhandlungen im vollen Wortlaut. Die Abhandlungen sind nach Stoffgebieten eingeteilt und innerhalb dieser nach der Zeit ihres Eingangs geordnet.

Den Abhandlungen folgen die Niederschriften über die einzelnen Sitzungen. Für die verschiedenen Stoffgebiete waren Hauptbericht-erstatte aufgestellt, deren Aufgabe es war, das Wesentliche aus den einzelnen Abhandlungen zusammenzufassen und EntschlieBungs-anträge zu stellen. Den Hauptberichten reihen sich jeweils die Aus-führungen der Redner an, die in der Aussprache das Wort ergriffen haben. Einige wenige Abhandlungen konnten von den Hauptbericht-erstatte n nicht behandelt werden, weil sie zu spät eingelaufen sind.

Hierauf folgen Zusammenstellungen der EntschlieBungen in deutscher, französischer und englischer Sprache, kurze Berichte über die Exkursionen und eine Rednerliste.

Daß es möglich gewesen ist, die für die Drucklegung des Teils B erforderlichen Mittel aufzubringen, ist in erster Linie der emsigen Werbetätigkeit zu verdanken, die der Präsident des Schweizerischen Kulturingenieurvereins, Herr Eidg. Kulturingenieur *E. Ramser* in Bern, entfaltet hat. Neben einer großen Zahl von Personen, die sich zur Abnahme einzelner Bände verpflichteten, haben die folgenden Stellen und Firmen namhafte Beiträge zu den Druckkosten geleistet:

*Schweizerischer Bundesrat,*  
*Zementwarenfabrik Kanderkies A.G., Thun,*  
*Vereinigung der Schweizerischen Zementfabriken, F. G. Portland,*  
*Zürich,*  
*Deutsches Kalisyndikat G.m.b.H., Berlin,*  
*Arbeitsgemeinschaft der deutschen Stickstoff-Industrie für das land-*  
*wirtschaftliche Beratungswesen, Berlin,*  
*Schweizerische Teerindustrie A.G., Pratteln,*  
*Ziegelei Horw-Gettnau-Muri (Luzern-Aargau),*  
*Ziegelei Kölliken (Aargau),*  
*Ziegelei Lüchinger & Co., Oberriet (St. Gallen),*

*Ziegelei Frick (Aargau),  
Association des fabricants de tuyaux de la Suisse romande,  
Briqueterie Morandi frères, Corcelles (Vaud),  
Briqueterie de Renens (Vaud),  
Zementwarenfabrik Frey-Hess, Bremgarten (Aargau),  
Lonza A.G., Chemische Fabriken, Basel.*

Ihnen allen sei auch an dieser Stelle der geziemende Dank für die großzügige Förderung ausgesprochen, die sie dadurch der 6. Kommission der Internationalen Bodenkundlichen Gesellschaft haben angedeihen lassen.

Den durch diese Beiträge nicht gedeckten Rest der Druckkosten hat in dankenswerter Weise die Internationale Bodenkundliche Gesellschaft übernommen, die auch die nicht unerheblichen Versandkosten trägt. Hierdurch ist es möglich geworden, den Band allen Mitgliedern der Gesellschaft unentgeltlich zu liefern, deren Mitgliedsbeitrag für das Jahr 1939 bis spätestens zum 31. Dezember 1939 eingeht. Vom 1. Januar 1940 ab ist der Band nur noch durch die Firma *N. V. Martinus Nijhoff's Boekhandel en Mitgevers Maatschappij, s'Gravenhage, Lange Voorhout 9*, erhältlich.

Besonderer Dank gebührt auch den Herren *Dr. E. W. Russell*, *Rothamsted*, und *Delarbre*, *Ingénieur en chef du Génie rural, Strasbourg*, welche die Liebenswürdigkeit hatten, die englischen und französischen Abhandlungen derjenigen Berichterstatter sprachlich zu überarbeiten, die nicht in ihrer Muttersprache geschrieben haben.

Endlich möchte ich nicht versäumen, dem Generalsekretär und stellvertretenden Präsidenten der Internationalen Bodenkundlichen Gesellschaft, Herrn *Dr. D. J. Hissink* in *Groningen* und Herrn *Kulturingenieur E. Ramser* in *Bern* für die tatkräftige Unterstützung, die sie mir bei der Drucklegung des Teils B haben angedeihen lassen, sowie Herrn Professor *Dr. H. Janert* in *Leipzig* für die Berichte über die Exkursionen auch an dieser Stelle den verbindlichsten Dank auszusprechen.

Stuttgart, im Oktober 1938.

Der Präsident der 6. Kommission  
der Internationalen Bodenkundlichen Gesellschaft:

*Otto Fauser.*

# INHALTSVERZEICHNIS

## TABLE DES MATIÈRES — CONTENTS

	Seite
Vorwort von <i>Otto Fauser</i> . . . . .	III
Teilnehmerliste -- Liste des participants -- List of members . . . . .	XI
Photographie der Teilnehmer . . . . .	XV
Tagungsplan -- Programme de la réunion -- Program of the meeting . . . . .	XVII

### ABHANDLUNGEN -- RAPPORTS -- PAPERS

#### I. Boden und Wasser -- Le sol et l'eau -- Soil and water

1. Entwässerungen und Aufforstungen im Flyschgebiet der Voralpen. Von <i>Hans Burger</i> , Zürich, Schweiz . . . . .	1
2. The Transport of Soil and Salts by running Water. By Dr. <i>E. G. Richardson</i> , Newcastle on Tyne, England . . . . .	10
3. Über die Einwirkung der Höhe des Grundwasserstandes auf die Temperatur der obersten Bodenschichten. Von <i>Aage Feilberg</i> , Kopenhagen, Dänemark . . . . .	17
4. Rapports entre le sol et l'eau. Par M. le Prof. <i>E. Diserens</i> à Zurich, Suisse . . . . .	24
5. Über täglich wiederkehrende Druckschwankungen im Bodenwasser. Von Prof. Dr. Ing. <i>Josef Donat</i> , Wien, Österreich . . . . .	27
6. Die Bohrlöcherermethode zur Ermittlung der Durchlässigkeit des Bodens und ihr Nutzen für die Praxis. Von <i>S. B. Hooghoudt</i> , Groningen, Holland . . . . .	42
7. Die Grundwasserstandsschwankungen in Verbindung mit der Frage fortschreitender Austrocknung. Von Prof. Dr. W. <i>Koehn</i> , Berlin, Deutschland . . . . .	58
8. Versuche über die Sickerbewegung im wasserreichen und im wasserarmen Boden. Von Prof. Dr. Ing. <i>Th. Oehler</i> , Ankara, Türkei . . . . .	70
9. Versuche über die Wasserverteilung im Kapillarsaum. Von Prof. Dr. Ing. <i>Th. Oehler</i> , Ankara, Türkei . . . . .	84

#### II. Dränungsversuchswesen

##### Recherches concernant le drainage -- Drainage research

10. Reduction potentials in drained and undrained soils. By Dr. <i>L. Smolík</i> , Brno, Czechoslovakia . . . . .	105
11. Beobachtungen an einer Versuchsdränung in Söllheim bei Salzburg. Von Prof. Dr. Ing. <i>Josef Donat</i> , Wien, Österreich . . . . .	110
12. Die Dränwirkung in der Trockenperiode. Von Ing. <i>Otakar Solnař</i> , Landwirtschaftsrat der Landesbehörde in Prag, Tschechoslowakei . . . . .	120
13. Der Wasserabfluß aus einem bestimmten Tonboden. Von Prof. Dr. Ing. <i>Jan Zavadil</i> , Brünn, Tschechoslowakei . . . . .	127

	Seite
14. Sur l'amélioration des sols minéraux à humectation excessive en URSS. Par M. le Prof. <i>B. G. Geytman</i> à Leningrad, URSS . . . . .	133
15. Mitteilungen aus dem Gebiete des Dränungsversuchswesens. Von <i>Ollo Fauser</i> , Stuttgart, Deutschland . . . . .	138
16. Verdunstungsmesser und Verdunstungsschreiber. Von <i>B. Ramsauer</i> , Wien, Österreich . . . . .	145
17. Untersuchung der Dränungsfolgen. Von Prof. Dr. Ing. <i>Adam Rożanski</i> , Kraków, Polen . . . . .	149
18. Un champ d'expériences sur le drainage. Par <i>M. H. Laferrère</i> , Ingénieur du Génie rural à Paris, France . . . . .	174

### III. Feldberechnung, Abwasserverwertung

#### L'irrigation par aspersion, l'utilisation des eaux usées

#### Sprinkling irrigation, sewage irrigation

19. Künstlicher Regen und seine Wirkung auf Boden und Pflanze. Von Prof. <i>W. Freckmann</i> , Berlin, Deutschland . . . . .	177
20. Kulturtechnische Abwasserverwertung und Bewässerungsverfahren. Von Dr. Ing. <i>H. Schildknecht</i> , Privatdozent an der Eidg. Techn. Hochschule Zürich, Schweiz . . . . .	185
21. Aufgaben und erste Ergebnisse der Forschung auf dem Gebiete der land- wirtschaftlichen Abwasserverwertung. Von Dr. Ing. habil. <i>A. Carl</i> , Berlin, Deutschland . . . . .	191
22. Vergleichende Untersuchungen über die Beregnungsbedürftigkeit des Bodens. Von <i>Ollo Fauser</i> , Stuttgart, Deutschland . . . . .	200
23. Die Abwasserverregnung in Deutschland. Von Prof. Dr. Ing. <i>Ferdinand Zunker</i> , Breslau, Deutschland . . . . .	217
24. Beregnungsanlage für Beerenkulturen. Von <i>E. Tanner</i> , Kant. Kultur- ingenieur, Schaffhausen, Schweiz . . . . .	225
25. Irrigation par aspersion en URSS. Par <i>M. E. G. Petrov</i> à Moscou, URSS.	232
26. Sewage irrigation in Western United States. By <i>Wells A. Hutchins</i> , Irri- gation Economist, Washington, U. S. A. . . . .	237
27. Supplemental irrigation in the Eastern United States of America. By <i>F. E. Staebner</i> , Drainage Engineer, Washington, U. S. A. . . . .	241
28. Les conditions de l'irrigation dans les champs d'épandage de la ville de Paris. Par <i>M. P. Rolley</i> , Prof. à l'Ecole Supérieure du Génie rural à Paris, France . . . . .	244

### IV. Unterirdische Bewässerung

#### L'irrigation souterraine — Subterranean Irrigation

29. Essais d'irrigation souterraine continue „Système d'Avignon“ en cul- ture maraîchère. Par MM. <i>Jean Bordas</i> , Directeur, et <i>Gaston Mathieu</i> , Chef de Travaux, de la Station Agronomique d'Avignon, France . . . . .	251
30. Essais d'irrigation souterraine discontinue „Système de Cavaillon“. Par <i>M. Gaston Mathieu</i> , Chef de Travaux à la Station Agronomique d'Avignon, France . . . . .	255
31. L'irrigation souterraine continue et le chauffage électrique du sol. Par <i>M. Jean Bordas</i> , Directeur de la Station Agronomique d'Avignon, France	258
32. Arbeiten über die Untergrundbewässerung. Von Prof. Dr. <i>H. Janert</i> , Leipzig, Deutschland . . . . .	260
33. Notes complémentaires sur l'irrigation souterraine. Par <i>M. Gaston Mathieu</i> , Chef de Travaux à la Station Agronomique d'Avignon, France . . . . .	268

**V. Einwirkung der kulturtechnischen Maßnahmen auf die Bewegung der Salze im Boden — L'influence des travaux d'amélioration du sol sur le mouvement des sels dans le sol — Effect of land amelioration measures on the movement of salts in the soil**

Seite

34. Irrigated lands require drainage. By *L. T. Jessup*, Drainage Engineer, Washington, U. S. A. . . . . 271
35. Effect of land amelioration measures on the movement of salts in the soil. By *Colin A. Taylor*, Associate Irrigation Engineer, Washington, U. S. A. . . . . 275

**VI. Einteilung der Moorböden — Classification des sols tourbeux  
Classification of peat soils**

36. Zur Frage der Einteilung und Untersuchung der Moore in der Tschechoslowakischen Republik. Von Dr. *J. Spirhanzl*, Prag, Tschechoslowakei 281
37. Über die Einteilung der Moorböden in Finnland. Von Dr. *Erkki Kivinen*, Helsinki, Finnland . . . . . 286
38. On the principles of the classification, surveying and mapping of peat deposits. By Prof. Dr. *D. A. Gherassimov*, Moscow, USSR. . . . . 288

**VII. Entwässerung und Sackung der Moorböden  
L'assainissement et les affaissements des sols tourbeux  
Drainage and shrinking of peat soils**

39. Zur Entwässerung der Gebirgsmoore. Von Kulturingenieur *Josef Dittrich*, Leiter der Moorversuchsstation Sebastiansberg, Tschecoslowakei . . . 293
40. Die Kultivierung des „Großen Moosbruches“ in Ostpreußen. Von Prof. Dr. *Rothe*, Königsberg i. Pr., Deutschland . . . . . 299
41. Subsidence of peat land in the Sacramento-San Joaquin delta of California. By *Walter W. Weir*, Drainage Engineer, University of California, Berkeley, U. S. A. . . . . 304
42. Die Abflußverhältnisse und Sackungserscheinungen bei der Entwässerung des Kehdinger Hochmoores. Von Prof. Dr. Ing. *Ferdinand Zunker*, Breslau, Deutschland . . . . . 315
43. Beiträge zur Frage der Moorsackung. Von Prof. *I. A. Hallakorpi*, Helsinki, Finnland. . . . . 332
44. Subsidence of Florida peat soil. By *B. S. Clayton*, Associate Drainage Engineer, Washington, U. S. A. . . . . 340

**VIII. Kalkung und Düngung der Moorböden  
Le chaulage et l'engraisement des sols tourbeux  
Liming and manuring of peat soils**

45. Fractionation and titration of the acidic constituents of peat. By *Irvin C. Feustel*, Washington, U. S. A. . . . . 345
46. Retention of manurial constituents by peat. By *B. D. Wilson* and *E. V. Staker*, Cornell University, Ithaca, New York, U. S. A. . . . . 357
47. Beitrag zur Kalidüngung des Niederungsmoores. Von *Leo Rinne*, Tartu, Estland . . . . . 362
48. Über die Düngung der Niederungsmoore mit „Eesti Phosphorit“. Von *Leo Rinne*, Tartu, Estland . . . . . 372
49. Düngung der Moorböden in den ersten und nachfolgenden Jahren der Bewirtschaftung. Von Prof. Dr. *B. Świętochowski*, Dublin, Polen . . . 378



	Seite
50. Effect of rainfall and of substrata upon composition and reaction of the soil waters of Everglades peat land. By <i>J. R. Neller</i> , University of Florida, Belle Glade, U. S. A. . . . .	388
51. Zur Frage des Kalkbedürfnisses der Hochmoorböden. Von Prof. Dr. <i>Fr. Brüne</i> , Bremen, Deutschland . . . . .	394
52. Neues auf dem Gebiete der Moorkultur in der UdSSR. Von Prof. Dr. <i>M. W. Dokukin</i> , Minsk, UdSSR. . . . .	401
53. Some factors influencing the productiveness of highly organic soils in North Carolina. By <i>L. G. Willis</i> , Raleigh, U. S. A. . . . .	406
54. Einiges über die bodenkundliche Beschaffenheit der Moorsumpfböden in der Residentur Süd- und Ost-Borneo bezüglich ihrer Berieselung für den Reisbau. Von <i>J. W. van Dijk</i> , Buitenzorg, Java, Niederländisch Indien . . . . .	410

#### IX. Verschiedenes — Sujets divers — Miscellaneous

55. A new laboratory method for measuring the effects of land amelioration processes. By Dr. <i>G. W. Scott Blair</i> , Rothamsted Experimental Station, Harpenden, England . . . . .	417
56. Das Gefüge des Bodens und dessen Kennzeichnung. Von Prof. Dr. Ing. <i>Josef Donat</i> , Wien, Österreich . . . . .	423
57. Die Beteiligung der Bakterien an der Zerstörung der Zementrohre. Von Prof. Dr. <i>M. Diggeli</i> , Zürich, Schweiz . . . . .	440
58. Die Melioration der Magadinoebene. Von Dr. <i>Hans Fluck</i> , Bellinzona, Schweiz . . . . .	448
59. Signification des résultats obtenus avec les sondes dynamométriques. Par <i>M. S. Hénin</i> , Versailles, France . . . . .	461
60. Die Durchlüftbarkeit des Bodens. Von Prof. Dr. <i>H. Janert</i> , Leipzig, Deutschland . . . . .	468
61. Über die Meliorierung der Alkaliböden unter Irrigationsbedingungen in der UdSSR. Von <i>I. N. Antipov-Karataev</i> , Moskau, UdSSR. . . . .	474
62. Ein neuer Volumbohrer. Von <i>B. Ramsauer</i> , Wien, Österreich . . . . .	482
63. Mechanical Analysis of some United Provinces Soils by Puri's Hydrometer Method. By <i>B. K. Mukerji</i> , Agricultural Chemist to Government and <i>A. N. Misra</i> , Research Assistant, U. P. Cawnpore, India . . . . .	486

### NIEDERSCHRIFTEN

#### COMPTES-RENDUS ANALYTIQUES DES DÉLIBÉRATIONS MINUTES OF THE MEETINGS

Ansprache des Präsidenten der 6. Kommission, Oberbaurat <i>Otto Fauser</i> , bei der Kranzniederlegung auf dem Grab von Oberst <i>J. Girsberger</i> . . . . .	491
<b>Eröffnungssitzung</b> . . . . .	492
<b>1. Sitzung der 6. Kommission</b> . . . . .	505
Dränungsversuchswesen — Recherches sur le drainage — Drainage research . . . . .	506
<b>2. Sitzung der 6. Kommission</b> . . . . .	511
Feldberegnung, Abwasserverwertung — L'irrigation par aspersion, l'utilisation des eaux usées — Sprinkling irrigation, sewage irrigation . . . . .	511
Unterirdische Bewässerung — L'irrigation souterraine — Subterranean irrigation . . . . .	517

	Seite
Einwirkung der kulturtechnischen Maßnahmen auf die Bewegung der Salze im Boden — L'influence des travaux d'amélioration du sol sur le mouve- ment des sels dans le sol — Effect of land amelioration measures on the movement of salts in the soil. . . . .	524
<b>3. Sitzung der 6. Kommission . . . . .</b>	<b>527</b>
Boden und Wasser — Le sol et l'eau — Soil and water . . . . .	527
<b>Sitzung der Unterkommission für Moorböden . . . . .</b>	<b>546</b>
Einteilung der Moorböden — Classification des sols tourbeux — Classifi- cation of peat soils . . . . .	546
Entwässerung und Sackung der Moorböden — L'assainissement et les affais- sements des sols tourbeux — Drainage and shrinking of peat soils . . . . .	551
Kalkung und Düngung der Moorböden — Le chaulage et l'engraisement des sols tourbeux — Liming and manuring of peat soils . . . . .	556
<b>4. Sitzung der 6. Kommission . . . . .</b>	<b>565</b>
Verschiedenes — Sujets divers — Miscellaneous . . . . .	565
<b>Schlußsitzung . . . . .</b>	<b>571</b>
EntschlieBungen . . . . .	580
Résolutions . . . . .	584
Resolutions . . . . .	588

## EXKURSIONEN — EXCURSIONS — EXCURSIONS

Programm der Exkursion im Kanton Zürich . . . . .	592
Programm der Exkursion im Kanton Bern . . . . .	592
Programm der Exkursion im Kanton Wallis . . . . .	593
Programme de l'excursion dans le Canton de Vaud . . . . .	593
Kurzberichte über die Exkursionen. Von Prof. Dr. H. Janert, Leipzig, Deutschland. . . . .	594
Ansprache des Präsidenten der 6. Kommission, Oberbaurat <i>Ollo Fauser</i> , beim Besuch des Weinguts Luins an der Côte vaudoise . . . . .	601
<b>Rednerverzeichnis — Liste des orateurs — List of speakers . . . . .</b>	<b>603</b>



# TEILNEHMERVERZEICHNIS

## LISTE DES PARTICIPANTS — LIST OF MEMBERS

### **I. Argentinien -- Argentine -- Argentine.**

1. *A. Arena*, Ing. agron., Buenos-Aires.
2. *Ricardo Videla*, Generalkonsul, Genf.

### **II. Belgien -- Belgique -- Belgium.**

3. *Montreau*, Ing. agron., Chargé de cours, Institut agronomique de l'Etat, Gembloux.

### **III. Britisch Indien -- Les Indes Britanniques -- British India.**

4. Sir Khan Sahib *Bazlul Karim*, Representant of the Imperial Council of Agricultural Research, New-Delhi.

### **IV. Dänemark -- Danemark -- Denmark.**

5. Lektor *A. Feilberg*, Kopenhagen, Falkonergaardsvej 7, Vertreter der Kgl. Dänischen Regierung.
6. *S. Torborg-Jensen*, Lyngby, J. H. Mundtsweg 14.

### **V. Deutschland -- Allemagne -- Germany.**

7. Dr. *Bär*, Berlin W 35, Bendlerstraße 37.
8. Dr. *Baumann*, Berlin-Friedenau, Blankenbergstraße 1.
9. Prof. Dr. *Fr. Brüne*, Bremen, Neustadtswall 81.
10. Dr. Ing. *A. Carl*, Berlin-Nikolassee, Kirchweg 40b.
11. Oberbaurat *Otto Fauser*, Präsident der 6. Kommission, Stuttgart-N, Seestr. 78.
12. Prof. *W. Freckmann*, Berlin N 4, Invalidenstraße 42.
13. Prof. Dr. *F. Giesecke*, Berlin-Dahlem, Lentzeallee 55/57.
14. Prof. Dr. *H. Janert*, Leipzig, Johannisallee 21.
15. Prof. Dr. *W. Kochne*, Berlin W 9, Saarlandstraße 122/128.
16. Dr. *P. Krische*, Berlin-Lankwitz, Beethovenstraße 10.
17. Prof. Dr. Ing. *H. Kuron*, Berlin N 4, Invalidenstraße 42.
18. Prof. Dr. *E. A. Mitscherlich*, Königsberg i. Pr., Tragheimer Kirchenstr. 74.
19. Prof. Dr. *J. Rothe*, Königsberg i. Pr., Tragheimer Kirchenstraße 74.
20. Prof. *L. Rothmund*, Stuttgart-S, Alexanderstraße 121a.
21. Prof. Dr. *F. Schucht*, Präsident der Internationalen Bodenkundlichen Gesellschaft, Berlin N 4, Invalidenstraße 42.
22. Dr. *F. Ströbele*, Direktor der Farbenindustrie A.-G., Ludwigshafen a. Rh.
23. Prof. Dr. *Max Trénel*, Berlin-Zehlendorf, Auerhahnbalz 7.

24. *F. Weidenmüller*, Kulturingenieur, Opladen bei Köln, Schillerstraße 4.
25. Oberregierungs- und -baurat *Otto Wolle*, Münster i. W., Schleswigerstraße 9, Vertreter des Reichs- und Preußischen Ministers für Ernährung und Landwirtschaft.
26. Prof. Dr. Ing. *F. Zunker*, Breslau 16, Hansastraße 25.

#### **VI. England -- Angleterre -- England.**

27. Dr. *G. K. Fraser*, The Macaulay Institute for Soil Research, Craigiebuckler, Aberdeen.
28. Prof. Dr. *J. Hendrick*, University of Aberdeen, Marischal College.
29. Dr. *E. W. Russell*, Rothamsted Experimental Station, Harpenden, Herts.
30. Dr. *G. W. Scott Blair*, Rothamsted Experimental Station, Harpenden, Herts.

#### **VII. Estland -- Esthonia -- Esthonia.**

31. Prof. Dr. *L. Rinne*, Tartu. Tiigi 24.

#### **VIII. Finnland -- Finlande -- Finland.**

32. Prof. *I. A. Hallakorpi*, Helsinki, Oksasenk. 9.
33. *Pentti Kaitera*, Dipl. Ing., Helsinki, Kaisaniemenk. 13.

#### **IX. Frankreich -- France -- France.**

34. Prof. *A. Blanc*, Ingénieur en Chef du Génie rural, Directeur de la Station Expérimentale de Génie rural, Paris XV<sup>e</sup>, 19, Avenue du Maine.
35. *Jean Bordas*, Directeur de la Station Agronomique d'Avignon, 36, Rue Boussingault, délégué.
36. *H. Burgevin*, Directeur de la Station Centrale d'Agronomie, Versailles, Route de Saint-Cyr, délégué.
37. *S. Hénin*, Centre National de Recherches Agronomiques, Versailles, Route de Saint-Cyr, délégué.
38. *H. Laferrère*, Ingénieur du Génie rural, Paris XV<sup>e</sup>, 19, Avenue du Maine, délégué.
39. Dr. *G. Mathieu*, Chef de Travaux à la Station Agronomique d'Avignon, 36, Rue Boussingault, délégué.
40. Prof. *A. Oudin*, Station de Recherches Forestières, Nancy, 12, Rue Girardet, Représentant de l'Ecole Nationale des Eaux et Forêts.
41. Prof. *P. Rolley*, Inspecteur Général du Génie rural, Neuilly sur Seine, 15, Avenue Sainte Foy.

#### **X. Holland -- Hollande -- Holland.**

42. Dr. *D. J. Hissink*, Stellvertretender Erster Vorsitzender und Generalsekretär der Internationalen Bodenkundlichen Gesellschaft, Groningen, Verlengde Oosterweg 122, Vertreter des Holländischen Landwirtschaftsministeriums.

#### **XI. Niederländisch Indien -- Les Indes Néerlandaises -- Dutch India.**

43. *J. W. van Dijk*, Ingenieur, Bodenkundig Institut van het Algemeen Proefstation voor den Landbouw Buitenzorg, Java, Vertreter des Gouvernements von Niederländisch Indien.

#### **XII. Norwegen -- Norvège -- Norway.**

44. Dr. *Aasulv Løddeøl*, Det Norske Myrskap, Oslo, Rosenkranzgt. 8.

### **XIII. Oesterreich --- Autriche --- Austria.**

- 45. Prof. Dr. Ing. *Josef Donat*, Wien 18, Gregor Mendelstraße 33.
- 46. Dr. Ing. *J. Kar*, Privatdozent, Wien 18, Gregor Mendelstraße 33.
- 47. Ministerialrat Dr. Ing. *B. Ramsauer*, Wien 1, Stubenring 1, Vertreter des Österreichischen Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft.

### **XIV. Polen --- Pologne --- Poland.**

- 48. Prof. Dr. *S. von Miklaszewski*, Bodenkundliches Institut der Technischen Hochschule, Warszawa.
- 49. Prof. Dr. Ing. *Adam Rożański*, Kraków, Aleja Mickiewicza 21.

### **XV. Rumänien --- Roumanie --- Roumania.**

- 50. Prof. *A. Munteanu*, Landwirtschaftliche Hochschule Bukarest, Vertreter der Kgl. Rumänischen Regierung.

### **XVI. Schweden --- Suède --- Sweden.**

- 51. Doz. Dr. *Gunnar Ekström*, Geologische Landesanstalt, Stockholm 50.
- 52. *Y. Gustafsson*, Assistent, Landwirtschaftliche Hochschule, Uppsala.
- 53. Dr. *Karl Lundblad*, Svenska Mosskulturföreningen, Jönköping.

### **XVII. Schweiz --- Suisse --- Switzerland.**

- 54. *Ernst Aebi*, Ing. agr., Schätzungsamt des Schweizerischen Bauernsekretariats, Brugg.
- 55. *E. Albisetti*, Eidgenössischer Forstinspektor, Bern.
- 56. *Max Bäschlin*, Kulturingenieur, Winterthur.
- 57. Dr. *Hans Burger*, Direktor der Eidg. Zentralanstalt für das Forstliche Versuchswesen, Zürich.
- 58. Prof. *E. Diserens*, Vorstand der Abteilung für Kulturingenieur- und Vermessungswesen der Eidg. Technischen Hochschule, Vorstand des Kulturtechnischen Laboratoriums, Zürich, Hegibachstraße 140.
- 59. Prof. Dr. *M. Dügge*, Direktor des bakteriologischen Instituts der Eidg. Technischen Hochschule Zürich.
- 60. Dr. Ing. *Hans Fluck*, Kulturingenieur, Bellinzona.
- 61. *Jak. Geering*, Ing. agr., Chemiker, Versuchsanstalt Oerlikon.
- 62. *L. Gisiyer*, Ing. agr., Chemiker, Versuchsanstalt Oerlikon.
- 63. *O. Goßweiler*, Kantonsgeometer, Aarau.
- 64. *W. Jeannin*, E. G. Portland, Hausen/Brugg.
- 65. *G. Jenny*, Kantonaler Kulturingenieur, Glarus.
- 66. *O. Kaufmann*, Kantonaler Kulturingenieur, Luzern.
- 67. *E. Keller*, Kantonaler Kulturingenieur, Zürich.
- 68. *O. Lutz*, Kantonaler Kulturingenieur, St. Gallen.
- 69. *J. M. Métraux*, Kulturingenieur, Zürich.
- 70. *H. Meyer*, Kulturingenieur, Neuhausen.
- 71. *Alb. Naef*, Ing. agr., Schätzungsamt des Schweizerischen Bauernsekretariats, Brugg.
- 72. Prof. Dr. *H. Pallmann*, Direktor des Instituts für Agrikulturchemie der Eidg. Technischen Hochschule Zürich.
- 73. *B. Petitpierre*, Kulturingenieur, Lausanne.

74. *E. Ramser*, Eidgenössischer Kulturingenieur, Präsident des Schweizerischen Kulturingenieur-Vereins, abgeordnet vom Eidgenössischen Volkswirtschaftsdepartement Bern.
75. *F. Ruchenstein*, Kulturingenieur, Sitten.
76. *J. Rutishauser*, Kulturingenieur, Frauenfeld.
77. Dr. *H. Schellenberg*, Kantonaler Rebbaukommissär, Zürich.
78. Dr. *H. Schildknecht*, Privatdozent, Hergiswil.
79. *M. Schwarz*, Kantonaler Kulturingenieur, Lausanne.
80. *O. Stamm*, Kantonsgeometer, Liestal.
81. *Ed. Strebel*, Kulturingenieur, Zürich.
82. *A. Strüby*, Eidgenössischer Chef-Kulturingenieur, Vertreter des Eidgenössischen Volkswirtschaftsdepartements Bern.
83. *E. Tanner*, Kantonaler Kulturingenieur, Schaffhausen.
84. *A. Weber*, Kantonaler Kulturingenieur, Frauenfeld.
85. *R. Zollikofer*, Kulturingenieur, Sekretär des Schweizerischen Kulturingenieur-Vereins, Zürich.
86. *W. Zumbach*, Adjunkt des Kantonsgeometers, Aarau.

#### **XVIII. Tschechoslowakei --- Tchécoslovaquie --- Czechoslovakia.**

87. Prof. Dr. *K. Schwigl*, Tetschen a. d. Elbe.
88. Ing. *O. Solnár*, Landwirtschaftsrat, Praha, Riegrovo nábr. 8, Vertreter des Landwirtschaftsministeriums der Tschechoslowakischen Republik.
89. Dr. Ing. *Jaroslav Spirhanzl*, Direktor des Staatlichen Agropedologischen Instituts, Praha XIX, Dejvice 542.
90. Prof. Dr. *J. Zavadil*, Brno, Veverí 95.

#### **XIX. Türkei --- Turquie --- Turkey.**

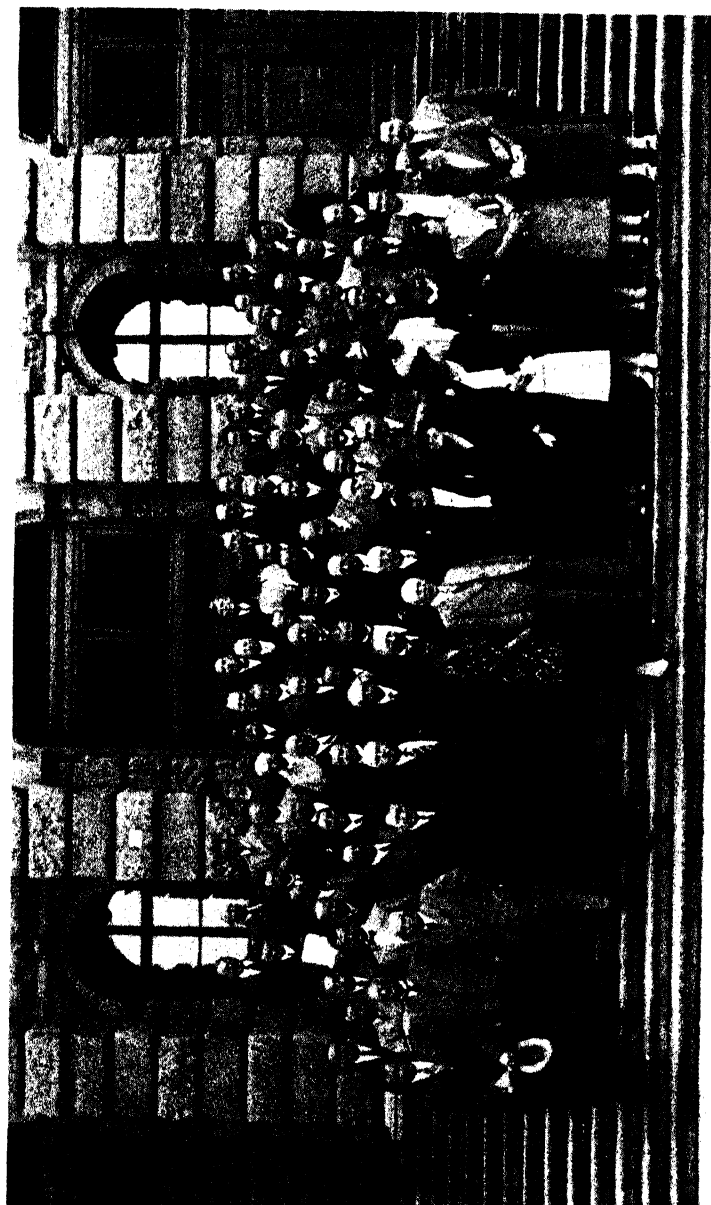
91. Prof. Dr. Ing. *Th. Ochler*, Ankara, Karanfil Sokakı 30.

#### **XX. Verbündete Malaienstaaten Etats Malais Fédératifs --- Federated Malay States.**

92. Dr. *J. H. Dennett*, Soils Chemist, Agricultural Department, Straits Settlements and Federated Malay States, Kuala Lumpur, Representant of the Malayan Governments.

#### **XXI. Vereinigte Staaten von Amerika Etats-Unis d'Amérique --- United States of America.**

93. Prof. *J. G. Lipman*, New-Brunswick.



Die Teilnehmer der Tagung.





# TAGUNGSPLAN

## PROGRAMME DE LA RÉUNION

## PROGRAM OF THE MEETING

*Samstag, den 31. Juli und Sonntag, den 1. August 1937.*

Empfang der Teilnehmer im Bahnhofbüfett II. Klasse, I. Stock, in Zürich. Verteilung der Quartiere und Übergabe der Teilnehmer- und Exkursionskarten.

*Sonntag, den 1. August.*

- 10.00: Zusammenkunft des Vorbereitungsausschusses, des Vorstands der 6. Kommission und des Generalvorstands der Internationalen Bodenkundlichen Gesellschaft im Bahnhofbüfett, I. St., zur Kranzniederlegung am Grabe des Obersten *J. Girsberger*, des ersten Präsidenten der 6. Kommission, auf dem Friedhof Realp.
- 15.00: Sitzung des Generalvorstands der Internationalen Bodenkundlichen Gesellschaft im Hotel Sonnenberg.
- 17.00: Sitzung des Benennungsausschusses der 6. Kommission im Hotel Sonnenberg.

*Montag, den 2. August.*

- 9.30: *Eröffnung der Tagung* in der Aula der Eidgenössischen Technischen Hochschule.
- 11.00: *1. Sitzung der 6. Kommission.*
- 11.00: Dränungsversuchswesen.  
Hauptberichterstatte: Ministerialrat Dr. Ing. *B. Ramsauer*, Wien, Österreich.
- 15.00: *2. Sitzung der 6. Kommission.*
- 15.00: Feldeberegnung, Abwasserverwertung.  
Hauptberichterstatte: Privatdozent Dr. Ing. *H. Schildknecht*, Hergiswil (Nidwalden), Schweiz.
- 17.00: Unterirdische Bewässerung.  
Hauptberichterstatte: Professor *A. Blanc*, Paris, Frankreich.

18.00: Einwirkung der kulturtechnischen Maßnahmen auf die Bewegung der Salze im Boden.

Hauptberichterstatler: Privatdozent Dr. Ing. H. Schildknecht, Hergiswil, Schweiz.

Ab 20.00 gesellige Vereinigung am Zürichhorn.

*Dienstag, den 3. August.*

8.00: 3. Sitzung der 6. Kommission.

8.00: Boden und Wasser.

Hauptberichterstatler: Professor Dr. J. Zavadil, Brno, Tschechoslowakei.

12.00: Begriffsbestimmung der Arten des unterirdischen Wassers.

Hauptberichterstatler: Professor Dr. Ing. F. Zunker, Breslau, Deutschland.

14.00: Sitzung der Unterkommission für Moorböden.

Hauptberichterstatler: Professor Dr. Fr. Brüne, Bremen, Deutschland.

14.00: Einteilung der Moorböden.

15.00: Entwässerung und Sackung der Moorböden.

16.30: Kalkung und Düngung der Moorböden.

19.00: Offizielles Bankett im Zunfthaus zur Safran.

*Millwoch, den 4. August.*

Exkursion im Kanton Zürich.

*Donnerstag, den 5. August.*

7.30: 4. Sitzung der 6. Kommission.

7.30: Verschiedenes.

Hauptberichterstatler: Dr. J. L. Russell, Oxford, England.

10.32: Abfahrt im Sonderzug zur Exkursion im Kanton Bern.

*Freitag, den 6. August.*

Exkursion im Kanton Wallis.

*Samstag, den 7. August.*

Exkursion im Kanton Waadt.

*Sonntag, den 8. August.*

Ruhetag.

*Montag, den 9. August.*

9.00: Schlußsitzung im Palais de Rumine, Salle du Sénat der Universität Lausanne.

**ABHANDLUNGEN**

**RAPPORTS — PAPERS**



# **I. Boden und Wasser**

## **Le sol et l'eau — Soil and water**

### **1. Entwässerungen und Aufforstungen im Flyschgebiet der Voralpen**

Von

*Hans Burger, Zürich, Schweiz.*

#### **EINLEITUNG.**

Fast durch das ganze Voralpengebiet der Schweiz zieht sich ein ziemlich breites Band von tertiären Sandsteinen und Mergeln, das die Geologen als Flysch bezeichnet haben. Die Flyschgesteine verwittern, Frost und Regen ausgesetzt, sehr leicht und bilden dabei sanfte runde Formen, die bei der Erstbesiedelung des Voralpengebietes viel mehr zur Weidegewinnung verlockten und deshalb stärker entwaldet wurden als andere geologische Formationen, z. B. Kalk oder Urgestein, die zu wilderen Formen verwittern.

Nach der Entwaldung nahmen Oberflächenabfluß und Erosion zu. Es bildeten sich Wildbäche. Das oberste Einzugsgebiet der gefährlichsten Wildbäche unseres Voralpengebietes liegt meistens im Flysch, so beim Höllbach und der Kalten Sense im Kt. Freiburg, der Hilferen und der kleinen Emme im Kt. Luzern, des Giswilerlauibaches und des Schlierenbaches im Kt. Obwalden, des Steinibaches am Pilatus im Kt. Nidwalden, des Weißtannen- und Stöckweidlibaches im Kanton Schwyz usw.

Der ziemlich kalkreiche Flysch verwittert zu einem feinen, sandigen bis tonigen Boden, der wenig sauer ist, aber sehr undurchlässig wird, sobald der schützende Waldbestand mit seinem auflockernden Wurzelwerk verschwunden ist. Der feine Flyschboden ist so undurchlässig und besitzt eine so große Wasserkapazität, daß er bei den großen Niederschlägen von 1500 und mehr Millimetern im Jahr selbst bei starkem Hanggefälle vernässen kann. Viele kleinere

Flächen Waldes, die die Rodungen übriggelassen hatten, vernäßten zum großen Teil ebenfalls, weil von den gerodeten Weidegebieten her der Wasserüberschuß oberflächlich und durch den Boden in sie eindrang.

Für die geringe Durchlässigkeit der tieferen Bodenschichten und des Untergrundes zeugt auch die Tatsache, daß selten starke, nachhaltige Quellen vorkommen, sondern meistens eine große Zahl von kleinen Quellen, die dem Verwitterungsboden entspringen und je nach den Niederschlagsverhältnissen stark schwankende Wassermengen liefern. Der an zahlreichen Stellen zutage tretende Bodenschweiß trägt einerseits viel zur Vernässung der tieferliegenden Hanggebiete bei, führt ihnen aber auch die auf den Gräten ausgelaugten Mineralstoffe wieder zu. Die Flyschböden mit ihrer kalkreichen Unterlage sind deshalb weniger podsoliert, als sie zufolge der hohen Niederschläge, der hohen Luftfeuchtigkeit und der relativ geringen mittleren Jahrestemperatur des Standortes sein müßten. Typisches Podsol ist meistens nur auf den obersten Gräten ausgebildet.

Die nach der Rodung der Wälder in der Hauptsache wahrscheinlich schon im Mittelalter geschaffenen Weiden konnten sich nur in den obersten Hanglagen und auf den Seitengräten der tieferen Hanglagen halten. Die Mulden, soweit sie überhaupt entwaldet worden sind, vernäßten, sobald die natürliche Drainage durch den Wald aufhörte. Der durch Gräser und Kräuter und deren Wurzeln gebildete Humus konnte sich auf dem nassen Boden nicht genügend zersetzen, und es bildeten sich nach und nach Humusschichten, in die von den oberen Hanglagen her stets feine Bodenteilchen eingeschlämmt wurden. Diese Humusschichten der nassen Hangmulden sind bald nur 10—20 cm, bald aber auch 50—60 cm mächtig, darunter liegt oft gelbroter Lehm, meistens aber gleiartiger Ton. Diese Flächen tragen heute meistens sogenannte Sauerwiesen, deren Gras jährlich einmal gemäht wird.

Guter Wald stockt heute nur noch auf steilen Abhängen, die sich weder zur Anlage eigentlicher Weide noch zur Ausübung der Waldweide eignen. In flacherem Gelände hat der Wald durch Kahlschläge und Vieheintrieb stark gelitten, besitzt meistens nur eine lichte Bestockung, und sein Boden ist häufig vernäßt, da ihm von höheren kahlen Hängen her Wasser zufließt.

Erst die Bundesverfassung von 1874, das eidgenössische Forstgesetz von 1876 und seine Revision von 1897 schufen die nötigen Grundlagen zur Verbauung und Aufforstung der Wildbachgebiete. In der Folge sind teilweise schon Ende des letzten Jahrhunderts, teilweise erst in den letzten Jahrzehnten in den Flyscheinzugsgebieten zahlreiche Entwässerungen und Aufforstungen ausgeführt worden. Dabei wurden meistens nicht gute Weiden aufgeforstet, sondern vorwiegend nasse Streuwiesen, die vorgängig entwässert werden mußten.

Auf Anregung der Eidg. Inspektion für Forstwesen haben wir in den Jahren 1930—1935 die Wirkung der Entwässerungen und Aufforstungen auf die Böden in folgenden Gebieten untersucht: 1. Höllbach, Kt. Freiburg; 2. Teufimatt (Kleine Emme), Kt. Luzern; 3. Giswilerlaui, Kt. Obwalden; 4. Neuenalp (Schlieren), Kt. Obwalden;

5. Steinibach am Pilatus, Kt. Nidwalden; 6. Duli- und Weißtannen im oberen Sihltal, Kt. Schwyz. Die Gebiete liegen meistens an Hängen in Meereshöhen von 1000—1600 m. Die Untersuchungen wurden vergleichsweise ausgeführt in unentwässerten Weiden und Streuwiesen, in Streuwiesen und Weiden, die z. T. erst vor wenigen Jahren, z. T. aber auch schon vor 20—30—40 Jahren entwässert und aufgeforstet worden sind, ferner in vernäbten Weidewaldungen und in ursprünglichen Wäldern auf trockenen Standorten.

An 475 Literproben gewachsenen Bodens aus Tiefen von 0—10 cm, 20—30 cm und 50—60 cm wurde die Korngrößenzusammensetzung, das Raumgewicht, der Porenraum, die Wasserkapazität und die Luftkapazität bestimmt. 492 Feinerdeproben dienten zur Messung der Azidität und mittels 532 Sickersversuchen klärten wir die Durchlässigkeit der Bodenoberfläche für Niederschlagswasser ab. Die Untersuchung wurde nur bis 60 cm Tiefe ausgeführt, einmal weil in diesem humiden Klima jeder Wald gedeihen kann, wenn der Boden bis in diese Tiefe in Ordnung ist, und sodann weil nirgends eine Entwässerung mit größerer Tiefenwirkung vorhanden war.

Die Ergebnisse werden in den Mitteilungen der Eidg. forstlichen Versuchsanstalt veröffentlicht. Hier kann ich nur eine knappe Übersicht über die Hauptresultate geben.~

## UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE.

### *1. Die Korngrößenzusammensetzung.*

Die Riedböden, die nicht durch mittelbare Verwitterung des anstehenden Gesteins entstanden sind, sind stein-, kies- und grobsandarm. Sie enthalten nur 0—5 Gewichtsprocente Körner über 2 mm, während die Teilchen unter 0,02 mm 30—50% der Feinerde ausmachen. Der Tongehalt der Böden nimmt von der Oberfläche nach der Tiefe zu. Er ist in den unteren Hanglagen größer als oben auf den Gräten. Die oberen Bodenschichten der Riedböden sind sehr reich an Humus. Der große Humus- und Tongehalt bedingt die hohe Wasserkapazität.

Die Böden, die direkt aus der Verwitterung des anstehenden Flysches entstanden sind, sind wesentlich gröber; die Korngrößen über 2 mm beteiligen sich mit 5—20%, und Humus- und Tongehalt sind wesentlich geringer, was eine kleinere Wasserkapazität bedingt als bei den Riedböden.

Es läßt sich in keinem Fall mit Sicherheit nachweisen, daß sich infolge von Entwässerungen und Aufforstungen im Laufe von 5—40 Jahren die Korngrößenzusammensetzung des Bodens merklich geändert hätte. Vielleicht hätte sich ein positives Resultat ergeben, wenn wir die Krümelgrößen untersucht hätten, was indessen nicht geschehen ist.



## *2. Der Wassergehalt bei der Untersuchung.*

Die Streuriedböden waren fast überall bei der Untersuchung annähernd mit Wasser gesättigt. Nur die Streuwiesenböden im Duli- und Weißtannengebiet, die wir zufällig nach 10 heißen, regenlosen Tagen untersuchten, waren in der obersten Bodenschicht von 10 cm etwas ausgetrocknet und hätten in dieser Schicht noch etwa 9,5 mm Niederschläge speichern können, gegen 14 mm in der entsprechenden Schicht eines seit 5 Jahren entwässerten Streuwiesenbodens, 23 mm im Boden einer 25jährigen Aufforstung nach Entwässerung und im ursprünglichen Waldboden auf trockenem Standort. In der Bodenschicht von 50–60 cm hätten die Böden zu gleicher Zeit noch folgende Niederschlagsmengen aufnehmen können: nur 1,7 mm in der unentwässerten Streuwiese, 2,1 mm 5 Jahre nach der Entwässerung, 3,2 mm unter der 25jährigen Aufforstung und 6,9 mm im Boden des ursprünglichen Waldes auf trockenem Standort. Ähnliche Verhältnisse zeigten auch die Untersuchungen in den andern Gebieten.

Die unentwässerten Streuwiesenböden tieferer Hanglagen sind fast das ganze Jahr annähernd mit Wasser gesättigt. Sie können deshalb bei heftigen Gewitterregen, bei Landregen oder auch bei raschen Schneeschmelzen sehr wenig Wasser speichern. Fast alles Niederschlagswasser muß oberflächlich abfließen, wodurch Hochwasser und Erosion vermehrt werden. Schon zirka 5 Jahre nach intensiver Entwässerung mittels offener Gräben sinkt der Wasserspiegel nach jedem Niederschlag wenigstens in den obersten 10–20 Zentimetern rascher ab, teils infolge Abfließens des Senkwassers, teils infolge starker Transpiration der sich nach der Entwässerung üppig entwickelnden neuen Vegetation. Eine deutliche Wirkung bis in Tiefen von 30–40–60 cm ist erst nach etwa 10 Jahren nachzuweisen, wenn sich die Struktur des Bodens soweit verändert hat, daß auch seine Wasserkapazität gesunken ist, da ja nur das Senkwasser abziehen kann.

Es gibt im Flyschgebiet aber auch ehemalige Streurieder, die 25–40 Jahre nach Entwässerung und Aufforstung in 50–60 cm Tiefe immer noch eine zu große Wasserkapazität aufweisen, wenn entweder der Grabenabstand zu groß oder die Grabentiefe zu gering gewählt wurde. Die Grabentiefe ist bei älteren Entwässerungen meistens zu klein angenommen worden, weil man das Zusammensinken des humusreichen Bodens zu wenig in Rechnung stellte. Es ist auch häufig nur bis auf den reinen Mineralboden entwässert worden, statt noch 20–30 cm in diesen hinein. Da die niedermoorartigen Streuriedböden im Flyschgebiet selten 1 m Mächtigkeit erreichen, so läßt sich der erwähnte Fehler wohl meistens vermeiden. Anders ist es bei Hochmooren mit größerer Mächtigkeit der Torfschicht.

Unsere Untersuchungen zeigen aber deutlich, daß entwässerte und aufgeforstete Streuwiesenböden nach jedem Niederschlag bald einen Teil des Wassers abfließen lassen und somit in der Lage sind, stets neue Niederschläge vorübergehend zu speichern. Am günstigsten verhalten sich diesbezüglich die Böden ursprünglicher, unbeweideter Wälder auf nicht vernäßtem Standort.

Wie wir noch sehen werden, hat sich zufolge der Entwässerungen und Aufforstungen die Struktur der Böden ganz wesentlich verändert, trotzdem in den Korngrößenverhältnissen kaum eine Verschiebung eingetreten ist. Die Natur ist also imstande, aus dem gleichen Baumaterial Böden recht verschiedener Struktur zu schaffen.

### *3. Das Raumgewicht.*

Das Darrgewicht eines Liters humusreichen Riedbodens ist durchweg auffallend klein, 200–300 g. Im Hochmoor kann das Gewicht bis auf 170 g sinken. Es wechselt stark mit der Humusbeimischung und nimmt in Riedböden mit der Tiefe zu, bei Hochmoorböden gibt es Ausnahmen, je nach der Struktur des Torfes.

Das Raumgewicht bringt zum Ausdruck, daß bei unseren Flysch-Riedböden der Übergang vom humusreichen, leichten Boden zum Mineralboden meistens in Tiefen von 40–70 cm erfolgt. Wird Riedboden entwässert, so sinkt er zusammen, sein Trockengewicht nimmt zu, und der Mineralbodenhorizont steigt höher gegen die Bodenoberfläche.

Normale Raumgewichtsverhältnisse zeigen nur die Böden, die unmittelbar durch Verwitterung aus dem anstehenden Gestein entstanden sind.

### *4. Der Porenraum.*

Der Porenraum der oberen Schichten der Streuriedböden ist zufolge des großen Humusgehaltes sehr hoch. Er kann mehr als 80% des gesamten Bodenraumes einnehmen. Im Hochmoor am Pilatus enthielt der Boden bis in eine Tiefe von 60 cm über 90% Porenräume, während in den Riedböden die Porosität mit der Tiefe rasch abnimmt.

Nach Entwässerung und Aufforstung nimmt in den Riedböden das Porenvolumen ab. Es liegt hier einer der seltenen Fälle vor, wo man eine Herabsetzung des Porenraumes begrüßt, weil in unserem Fall Porenraum fast gleichbedeutend ist mit Wasserkapazität. Normale Porenvolumina weisen im Flyschgebiet nur die direkten Verwitterungsböden auf.

Für jeden Boden gibt es ein Optimum der Porosität. Gleiche Porenvolumina können zudem ganz verschiedene Wirkung ausüben, je nachdem die Poren hauptsächlich kapillar wirken und somit die Wasserkapazität erhöhen, oder so groß sind, daß das Senkwasser abziehen kann, was die Durchlüftung begünstigt.

### *5. Die Wasserkapazität.*

Die Wasserkapazität der Böden der Streurieder ist sehr hoch. In der Bodentiefe 0–10 cm beträgt sie fast immer 75–85 Volumenprocente, in 50–60 cm Tiefe noch rund 65–70%. Im Hochmoor

steigt die Wasserkapazität bis zu 91% des Bodenvolumens. In gesunden Waldböden ist die Wasserkapazität um 10–30% geringer als in Riedböden.

Die Wasserkapazität nimmt bald nach der Entwässerung und Aufforstung der Streuwiesen ab, wenigstens in den oberen Bodenschichten. Schon nach 5–10 Jahren kann sie in den obersten 10–20 cm des Bodens um 5–10% gesunken sein. 25–40 Jahre nach der Entwässerung und Aufforstung ist die Wasserkapazität des ehemaligen Riedbodens bis 20% kleiner geworden. Die Böden haben besonders durch die wachsenden Wurzeln und durch die Tätigkeit der Bodenfauna ihre Struktur wesentlich verändert. Leider ist in der Tiefe von 50–60 cm die Veränderung ungenügend, weil in den meisten Fällen die Entwässerung nicht mehr bis in diese Tiefe wirkt.

Die Riedböden mit ihrem großen Humus- und Tongehalt und der damit verbundenen außerordentlich hohen Wasserkapazität könnten auch mit einem dichten Grabennetz kaum genügend entwässert werden, wenn nicht als Nebenwirkung der Entwässerung eine starke Strukturveränderung einträte, die sich hauptsächlich auswirkt in einer Herabsetzung der Wasserkapazität zugunsten einer Vergrößerung der Luftkapazität.

## 6. Die Luftkapazität.

Wir haben schon gesehen, daß in den unentwässerten Streuriedböden fast der ganze Porenraum aus kapillar wirkenden Poren besteht, daß also die Wasserkapazität hoch, die Luftkapazität aber klein ist. In der Tiefe 0–10 cm der Böden der Streurieder beträgt die Luftkapazität nur 2–3½% und sinkt bis in 50–60 cm Tiefe meistens auf 0,8 bis 0,3%.

Nach der Entwässerung beginnt die Luftkapazität zu steigen. Schon 3–5 Jahre später läßt sich in den obersten 10 cm des Bodens eine Erhöhung deutlich nachweisen. 10 Jahre genügen, um auch in 20–30 cm Tiefe die Durchlüftung besser zu gestalten. 20–25 Jahre nach der Entwässerung und Aufforstung haben die Böden bis in Tiefen von 30–50 cm ungefähr die Luftkapazität eines normalen Waldbodens erreicht. Man darf einen Waldboden als gut durchlüftet betrachten, wenn er folgende Luftkapazitäten aufweist:

Bodentiefe . . .	0–10 cm	20–30 cm	50–60 cm
Luftkapazität . .	15–20 %	8–12 %	6–8 %

Die Luftkapazität der Weideböden auf trockenem Standort ist bei sonst gleichen Umständen meistens nur etwa ein Drittel bis halb so hoch wie in guten Waldböden.

## 7. Die Durchlässigkeit der Bodenoberfläche.

Die Durchlässigkeit der obersten Bodenschicht für Niederschlagswasser und Schneewasser ist stark abhängig vom zufälligen Wassergehalt bei der Untersuchung. Nur bei Untersuchungen, die gleich-

zeitig ausgeführt worden sind, dürfen deshalb die Zahlenergebnisse unmittelbar verglichen werden, sonst muß man sich damit begnügen, die Verhältnisse relativ gegeneinander abzuwägen.

In die Böden der unentwässerten Streuwiesen sickern 100 mm Wasser, je nach den Boden- und Feuchtigkeitsverhältnissen, erst in 1—13 Stunden ein. Sie sind praktisch undurchlässig, da sie bei den großen Niederschlägen und der hohen Wasserkapazität fast das ganze Jahr bis an die Oberfläche annähernd mit Wasser gesättigt sind.

Schon 3—5 Jahre nach der Entwässerung der Streuwiesen kann die Einsickerungsmöglichkeit für Niederschlagswasser 3—8 mal größer sein. 8—10 Jahre nach der Entwässerung und Aufforstung erfolgt die Einsickerung 10—20 mal rascher und nach 20—40 Jahren kann die Durchlässigkeit der obersten 10 cm des Bodens 20—50 mal größer geworden sein, wodurch die Durchlässigkeit ursprünglicher Waldböden erreicht ist.

Unsere Untersuchungen beweisen, daß die Durchlässigkeit der Böden unter Alpenröhlgebüschen, ja sogar unter Alpenrosen, Heidelbeeren, *Calluna* usw. viel günstiger ist als bei der sauberen Weide mit kurzem, dichtem Rasen. Auch durch Weideausschluß allein wird die Bodenoberfläche lockerer und durchlässiger gestaltet. Im Steinhilbergebiet und im Dul- und Weißtannengebiet ist die Oberfläche einer trockenen Weide 15—50mal weniger durchlässig als gute Waldböden auf gleichem Standort. Es sind also insbesondere die nassen Streuwiesenböden und die verhärteten Weideböden, die großen Oberflächenabfluß, maximale Wasserstände und starke Erosion verursachen.

Bei ebenem Gebiet sinkt der Grundwasserspiegel zwischen zwei Gräben mehr oder weniger in Form einer Ellipse ab, derart, daß die Mitte der Felder am wenigsten entwässert ist, die in der Nähe der Gräben liegenden Randstreifen am besten. Am Hang liegen die Verhältnisse etwas anders. Je nach der Steilheit des Hanges und der Grabentiefe wird ein größerer oder kleinerer Streifen des Zwischenfeldes noch nach dem oberen Graben entwässert, aber die Hauptsache des Wassers sickert bei undurchlässigem Untergrund, mehr oder weniger der Hangneigung folgend, durch den Boden des ganzen Zwischenfeldes hindurch in den unteren Graben. Der Teil des Zwischenfeldes am oberen Grabenrand entlang muß also immer am besten entwässert sein. Ob sodann am steilen Hang die Mitte des Zwischenfeldes oder der untere Rand besser entwässert ist, hängt zum Teil vom Grabenabstand, zum Teil von der Zeit ab, die seit dem letzten Niederschlag verflossen ist.

## 8. Die Akzidität.

Es war früher und ist vielfach noch heute üblich, die Streuwiesen als Sauerwiesen zu bezeichnen, im Gegensatz zu den Heuwiesen mit sogenannten süßen Futtergräsern. Unsere Untersuchungen haben ergeben, daß die Böden der «Sauerwiesen» keineswegs ausgesprochen sauer sind. In den Böden der Streuwiesen auf Flysch beträgt das

pH 6,8—5,7, die Böden sind also annähernd neutral bis schwach sauer. Dabei verändert sich das pH mit der Bodentiefe wenig. Meistens ist der Boden nahe der Oberfläche weniger sauer als in 50—60 cm Tiefe. Sodann läßt sich aber leicht nachweisen, daß das pH oben am Hang und besonders auf den Gräten kleiner ist als in tieferer Hanglage. Nur auf den Gräten kommen ausgesprochene Podsole vor.

Das Flyschmuttergestein ist ziemlich kalkreich, der daraus entstehende Boden neigt wenig zu Podsolierung, der Boden ist aber meistens schon in einer Tiefe von 40—70 cm praktisch undurchlässig. Die Niederschläge, soweit sie überhaupt in den Boden eindringen können, versickern zum geringsten Teil senkrecht in den Untergrund. Das meiste Wasser bewegt sich über und im Boden in der Richtung des Hanggefälles talwärts. Da und dort, besonders bei Gefällsbrüchen, bilden sich Bodenwasseraufstöße, und aus dem stets nahezu gesättigten Boden erfolgt starke Verdunstung, bei minimaler vertikaler Versickerung. In tieferen Hanglagen ist also die Verdunstung größer als die vertikale Versickerung, und das pH ist deshalb an der Oberfläche meistens etwas höher als in 50—60 cm Tiefe. In den oberen Hanglagen wird die Zufuhr von kalkreichem Wasser immer geringer, bis sie auf den Gräten ganz aufhört; auch die Verdunstung wird kleiner, da nur noch das auf die Fläche selbst fallende Niederschlagswasser in Frage kommt. Deshalb sind die Böden der Gräte und obersten Hanglagen an der Oberfläche wesentlich saurer als in 50—60 cm Tiefe.

Werden nun Streuwiesen durch offene, mehr oder weniger horizontal verlaufende Gräben entwässert, so wird der hangabwärts fließende Wasserstrom bis auf die Grabentiefe unterbrochen. Den Feldern zwischen zwei Gräben kann von oben kein kalkhaltiges Wasser mehr zugeführt werden, die direkte Verdunstung wird herabgesetzt, und das mehr oder weniger senkrecht absickernde Wasser vermehrt sich. Die Felder zwischen den Gräben werden ausgewaschen, und die leichtlöslichen Mineralstoffe werden mit dem Grabenwasser fortgeführt, so daß die Böden von entwässerten «Sauerwiesen» rasch saurer werden, wie folgende Zusammenstellung zeigt:

Gebiet	pH vor Entwässerung		Entwäs- sert seit Jahren	pH nach Entwässerung	
	0-10 cm	50-60 cm		0-10 cm	50-60 cm
Duli- u. Weißtannen .	6,3	6,3	5	6,0	6,2
Giswilerlauri . . . . .	6,3	5,8	8	5,8	5,7
Neuenalp . . . . .	6,3	6,2	10	5,6	6,0
Höllbach . . . . .	6,4	6,8	20	4,7	6,0
Höllbach . . . . .	6,4	6,8	40	5,3	6,7
Giswilerlauri . . . . .	6,3	5,8	25	5,3	5,6
Steinibach . . . . .	5,9	5,7	25	4,9	5,5

In allen Fällen ist infolge der Entwässerung das pH stark gesunken, und zwar in den oberen Bodenschichten bedeutend rascher als in 50—60 cm Tiefe. Man kann an der Abnahme des pH geradezu erkennen, ob die Entwässerung gut wirkt oder nicht. Die 20jährige Aufforstung im Höllbach z. B. ist besser entwässert als die 40jährige,

durch deren Boden offensichtlich immer noch von der oberhalb liegenden Weide her kalkreiches Wasser sickert. In allen untersuchten Fällen ist in der Tiefe von 50–60 cm das pH wenig gesunken, weil in den älteren Entwässerungen die Gräben nicht mehr bis auf diese Tiefe wirken.

Am sauersten sind überall die Böden des Waldes auf nicht vernäbten Standorten, die sich fast vollständig lotrecht entwässern. Schon unter Erlengebüschen, die die Durchlässigkeit des Bodens verbessern und seine Verdunstung herabsetzen, ist das pH bedeutend niedriger als im Boden der nur wenige Meter entfernten Weide.

### *9. Graben- oder Röhrenentwässerung.*

Praktisch besitzt diese Frage insofern keine große Bedeutung, als Röhrenentwässerung im Wald ebenso selten in Frage kommt wie in landwirtschaftlichem Gebiet offene Gräben. Offene Gräben entwässern immer stärker als Röhren, sofern sie gut unterhalten werden, namentlich wegen der besseren Durchlüftungsmöglichkeit des Bodens. Am Hang kommt aber noch hinzu, daß die offenen Gräben den hangabwärts fließenden Wasserstrom bis auf die Grabensohle vollständig unterbrechen, was bei der Röhrendränung nicht immer der Fall ist.

Wo ausnahmsweise landwirtschaftliche Gebiete durch offene Gräben entwässert werden sollten, muß bedacht werden, daß sie nachher eine stärkere Düngung erfordern als nach Röhrendränung.

### *10. Weitere Beobachtungen.*

Die Untersuchungen ergaben weitere Anhaltspunkte über das Gefälle der Gräben, deren Tiefe und Richtung zum Hang, über den Grabenabstand, der bei Flyschböden 5–7 m selten übersteigen darf, über den richtigen Zeitpunkt der Aufforstung nach erfolgter Entwässerung und über den Einfluß der Entwässerung auf den Wasserabfluß.

Auf diese Fragen kann ich hier nicht weiter eingehen. Man findet alle Detailresultate über die gemachten Ausführungen im 1. Heft des XX. Bandes der Mitteilungen der Eidg. Anstalt für das forstliche Versuchswesen, das im Herbst 1937 erscheinen wird.

## 2. The Transport of Soil and Salts by running Water

By

Dr. E. G. Richardson, Newcastle on Tyne, England.

At the Plenary Congress in Oxford, 1935, the author reported on two new types of apparatus involving the use of photoelectric cells by means of which it is possible (1) to perform the mechanical analysis of a soil specimen dispersed in water, and (2) to follow the erosion of the soil from the bed of a channel by running water. The present paper is a report on further progress in the erosion problem made by the author, involving the simultaneous employment of these two instruments.

A number of measurements of the amount of soil carried in suspension by streams under various conditions have been made, particularly in the United States where the erosion problem is a very pressing one. Attempts have been made to relate these amounts to the depth, gradient and mean velocity of the stream and to the mean grain size, in empirical laws, but such laws can give but a very rough representation of the dynamics of the problem, ignoring as they do several important factors. It is not surprising then that difficulty is found in applying them to the removal or re-deposition of soil in the general case.

The actual factors which determine the erosion and subsequent transport of soil may be classified as follows:

- (1) the velocity-gradient  $dU/dy$  perpendicular to the stream, particularly its value at the bed itself ( $y = 0$ ),
- (2) the conditions of flow, whether laminar or turbulent,
- (3) the grains transported, their size, shape and specific gravity,
- (4) the configuration of the soil bed, its compactness, its gradient and roughness.

In field experiments all these factors intervene in a fashion which does not allow of the separation of their respective contributions. It was therefore proposed at first to study the transport of an idealised soil consisting of as nearly as possible spherical grains of the same size and specific gravity loosely compacted into a horizontal bed in a cavity of the floor of a glass-sided channel, so that at the start the soil surface was on a level with the rest of the channel bed. In these experiments, only the first two factors would vary, the latter pair remaining constant. Two channels were used. The first was a small one 150 cm. long, 5 cm. wide and allowed of a depth of water up to 8 cm. This channel, owing to its small size, showed certain scale effects and a much larger channel 300 cm. long and 25 cm. wide was

then built, allowing of a depth of water of 30 cm. It was connected at each end to reservoirs of 1 sq. m. capacity, which were in turn connected below through a 2 h. p. circulating pump. At the entry the water passed over a notched weir and through a trumpet-shaped guide into the straight portion of the channel. At the far end it spilled over a similar weir to the second reservoir which acted as a stilling tank, in which the eroded soil settled.

Measurements of the stream velocity from one level to another over the soil bed were made by means of a hot-wire anemometer. The wire was of nickel, 0.001 in. diameter, mounted on a fork to allow of vertical traversing in the middle of the channel, and heated by a current of 0.2 amp.

An optical arrangement was used to measure the distribution of the transported soil in the stream. It consisted of a narrow beam of light 2 cm. wide and 2 mm. deep which passed horizontally across the channel perpendicular to the glass sides. It has been found that the absorption of such a beam of light is, within the range of particle size contemplated, proportional to the total projected area of the soil in suspension. The absorption of light in passing through the channel was measured by allowing the beam to fall upon a photoelectric cell on the far side. By an arrangement of gears, both the beam of light and its associated cell could be orientated in any position relative to the soil bed. The measurements of velocity ( $U$ ) and soil concentration ( $s$ ) were made over vertical sections near the downstream end of the model bed which was located at a considerable distance from the entry in order to reduce the effect which this might exercise on the flow in the experimental region.

If the soil bed has been sieved so that it may be considered as made up of particles of a uniform size, having a settling velocity — in still water — of  $C$ , the equilibrium of the soil  $s$ , at a height  $y$  above the floor of the channel requires that

$$Cs + A \cdot \frac{ds}{dy} = 0,$$

an equation due to *Schmidt*, who called  $A$  the *Austausch* coefficient. If  $A$  can be considered constant, the solution of this equation is

$$A (\log. s_0 - \log. s) = Cy,$$

where  $s_0$  is the concentration at the bed level.

Fig. 1 shows the soil distribution (continuous lines) and velocity gradients (broken lines) corresponding to different mean stream velocities with a bed of graded soil, mean particle diameter 0.05 mm. At the lowest speed, the motion is still steady and the soil carried in suspension is small in quantity, but almost uniformly distributed across the stream. At the next stage the flow is becoming unsteady, while at the highest speed it is definitely turbulent, and the soil distribution is the exponential one indicated by the above equation. As a matter of fact, it is only in the region where there is a steep velocity-gradient, i. e., near the soil bed, that the *Austausch* varies from point to point. It can also be clearly seen from Fig. 1



how this factor  $A$ , which determines the amount eroded from the bed and therefore the total quantity carried in suspension, increases with the velocity-gradient at the bed. In completely turbulent motion, it is found to depend almost directly as  $dU/dy$  at  $y = 0$ , and inversely as  $C$ , i. e. inversely as the specific gravity and the square of the grain diameter of the soil. If the mean velocity is below the critical value given by  $Uh/\nu = 300$  where  $h$  is the depth of water and  $\nu$  the kinematic viscosity (*Hopf*, *Ann. d. Physik*, 32, 777, 1910) the flow is laminar, and little soil is eroded. In practice, the critical velocity would generally be exceeded.

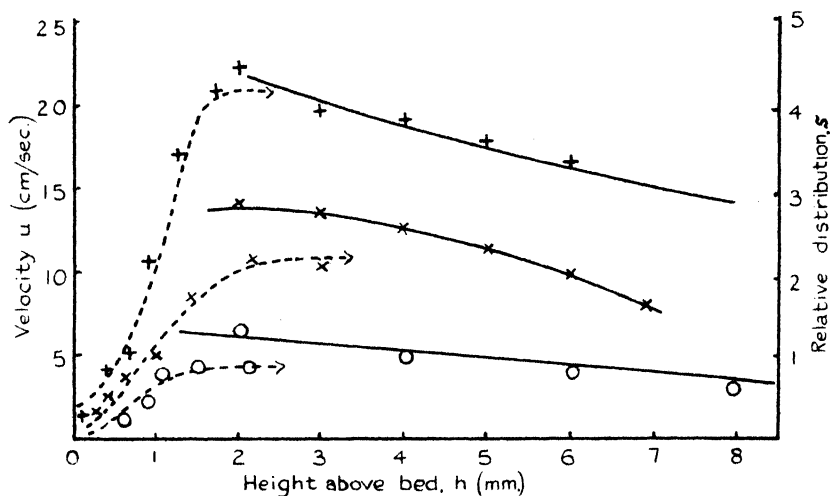


Fig. 1

Data for other grain sizes were obtained, but Fig. 1 may be regarded as typical of the whole series. The next stage was to form the bed of a natural soil in which grains of all sizes within reasonable limits might be expected to supervene. The method of recording the distribution had now to be changed, since it was desired to record how each individual size was distributed throughout the mass transported at any level. Samples were accordingly taken from the channel by means of a pipette at different heights above the bed while the erosion was in progress. These samples were subjected to mechanical analysis by sedimentation in still water, using the optical apparatus of the author which has been fully described elsewhere.<sup>1)</sup> Having found in each sample, the relative proportions of grains of each size, curves could be plotted showing how each size was distributed throughout the stream. These curves are shown on Fig. 2 in the form  $\log. s$  against  $y$  for each grain size. It will be observed that each size is

<sup>1)</sup> *Journ. Agric. Sci.*, 24, 457 (1934); *Journ. Scientific Instruments*, 13, 229 (1936); the apparatus is now sold by Messrs. *Gallenkamp & Co.*, Sun St., London.

distributed in accordance with the equation already quoted, so that the plots form straight lines whose slope is proportional to  $C$  and hence to the square of the particle diameter. The value of the *Austausch*  $A$  is the same for all sizes in the body of the stream. The slight curvature of the lines at small values of  $y$  is evidence for the inconstancy of  $A$  near the bed, already noted.

The next question to be considered is that of the penetration of the soil by the running water. This may best be considered as a pro-

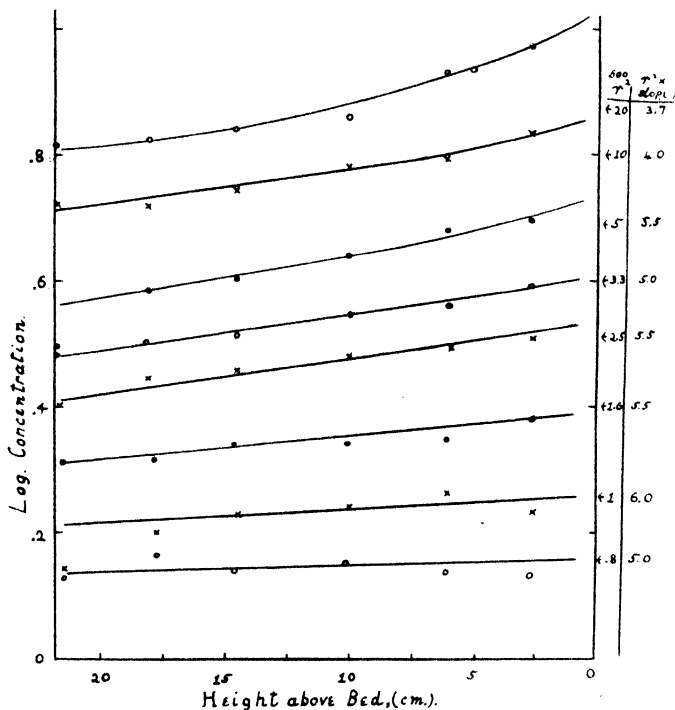


Fig. 2

blem in diffusion. The extent to which the water percolates through the soil will obviously depend on the consistency of the soil as well as on the surface tension and viscosity of the percolating fluid. In the sand beds used by the author, diffusion into the bed was very rapid. Into heavy clay soils it will be much slower but if the subsoil is continuously exposed to the action of the water like the beds of permanent streams, water will eventually reach considerable depths. This penetration of the soil by the stream has an important consequence, especially in loosely compacted strata, i. e., that the force of the stream is exercised on the surface soil and tends to roll it along. In the author's channel, it was possible to carry the measurements of velocity with the hot-wire right into the bed itself, and to demonstrate this fact. Such measurements are shown on Fig. 3 where the horizontal

dotted line indicates the original surface of the bed. A point of inflexion occurs in the velocity gradients at about this level, and the trend of the gradient into the bed shows that this is moving with diminishing velocity for a short distance, the waterlogged soil moving as a quasi-solid. Such action of course increases the erosion, and once such penetration by the moving fluid is allowed to take place and

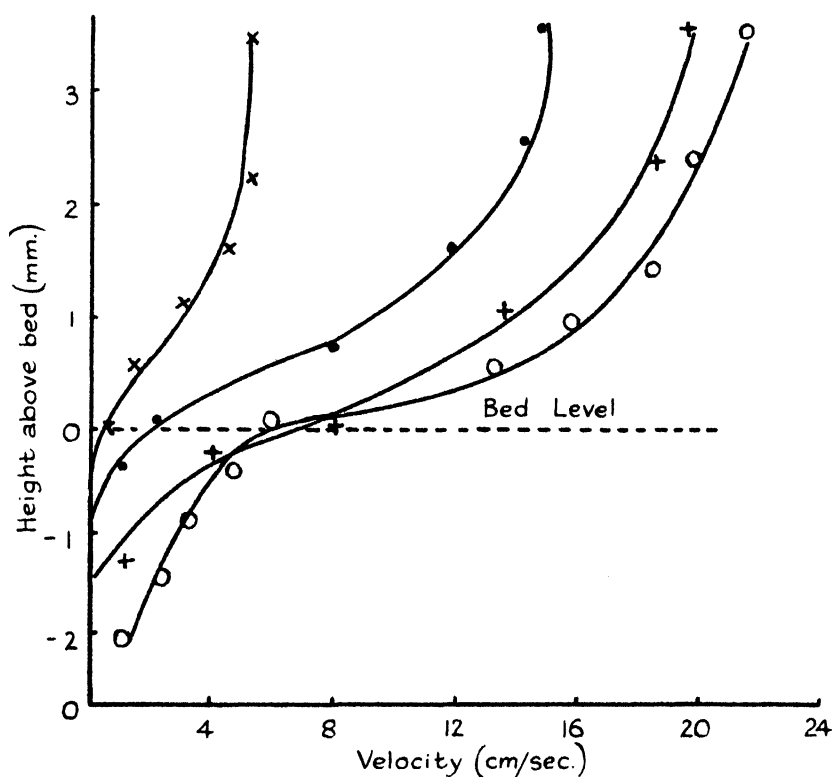


Fig. 3

start the subsoil moving, the removal of the soil will tend to accentuate, in virtue of the well-known property of a colloidal fluid to show a — relatively — less resistance to motion as the shearing force on it is increased.

Another important factor resulting from the penetration of the soil by running water, is the removal of soluble salts by the stream. The expression for the *Austausch* of such materials will be similar to that already given for the soil crumbs, save that the force of gravity tending to restore the matter to the bed will be negligible. Under these conditions the transport of soluble salts from the soil will be perfectly analagous to the transport of heat from a hot plate into a stream of fluid passing over its surface. The author has made some

experiments on this „leaching out” of salts by a stream, using a dye — potass. permanganate — as the soluble salt set as solid grains in among the particles of coarse sand forming the bed. As the stream penetrates the bed, it is infused by the dye. At slow stream speeds when the flow is still laminar, the dye remains in the soil, since its diffusion is then governed by the very small coefficient of molecular diffusion, but as soon as turbulence sets in and before the sand itself is transported to an appreciable extent, the main stream becomes coloured, the dye being rapidly carried downstream by the much greater turbulence diffusion. It has been found that the distribution of the dye downstream from a „line-source” transverse to the stream and located in the bed obeys the „error law”, i. e. that

$$(\log. c_0 - \log. c) = y^2/kx$$

where  $c$  is the colour-density (measured by the beam of light and photoelectric cell afore-mentioned) and  $x$  is the distance downstream from the source;  $k$  takes the place of the coefficient of diffusion or of heat-conduction in the corresponding molecular phenomena, and is a function of the mean velocity and degree of turbulence in the stream.

Although this paper is concerned with the transport of soil by moving water, the observations can be as readily applied to wind erosion, due regard being had to the smaller value of the density but larger kinematic viscosity of the air. Thus, soil in still air has a settling velocity approximately 300 times that in water while the critical velocity is, *ceteris paribus*, 12 times greater. These two factors act as some deterrent to wind erosion, but where gales are prevalent and the soil loose, as in semi-arid regions, large quantities of soil may be removed by this agency. Even in the eastern districts of England, farmers may find the valuable topsoil removed from their market gardens by a single day's gale. Soluble salts are of course not removed by the wind but rapid evaporation of moisture may occur and follow the same course.

Finally, something should be said on the bearing of this research on the methods to be adopted to prevent erosion. It should be obvious that the only effective means to prevent the soil being eroded will involve either an increase in the cohesion or average grain size of the soil or a reduction of the *Austausch* coefficient by reducing the velocity gradient at the bed. Of the means tried up to the present that of terracing the soil to reduce the rate of run-off — as adopted in the United States — attacks the problem indirectly by reducing the mean velocity of the stream. By delaying the removal of surface water, however, it may bring other agricultural problems in its wake. A better solution — to the author's mind — would be to protect the soil surface itself while leaving the space above a level a few inches higher than the soil clear for the surplus water to run off. This would have the effect of locating the steep velocity gradient at a level where it would be innocuous, clear of the surface soil. The planting of herbage which would grow to a height of a few centimetres only and yet have substantial roots in the soil would effect this and

accomplish two other desirable feats from the point of view of preventing the removal of soil and soil salts, viz., consolidate the soil and provide a greater resistance to the flow of water in the soil itself; at the same time, by lowering the average velocity over the bed, it would reduce the likelihood of turbulence with its consequent swelling of the rate of pick-up. The discovery of such an ideal plant we must leave to the botanists!

### 3. Über die Einwirkung der Höhe des Grundwasserstandes auf die Temperatur der obersten Bodenschichten

Von

*Aage Feilberg*, Kopenhagen, Dänemark.

In fast allen Lehrbüchern der Dränung wird angegeben, daß diese eine Erhöhung der Temperatur in den oberen Bodenschichten bewirke; es liegen aber bis jetzt nur wenige Versuchsergebnisse vor, auf die man eine solche Angabe stützen kann.

Die am häufigsten referierten Untersuchungen (z. B. in *Voglers Kulturtechnik*) beziehen sich auf einen im «*Journal of the Royal Agricultural Society of England*», Bd. 5, 1844, 1, veröffentlichten Artikel von Ingenieur *Josiah Parkes*.

Der verstorbene Professor *T. Westermann* an der Königl. Tierärztlichen und Landwirtschaftlichen Hochschule in Kopenhagen macht in dem nach seinem Tode erschienenen Buch «*Draening*» (Dränung) darauf aufmerksam, daß die Resultate von *Parkes* häufig auf irreführende Weise wiedergegeben sind, indem die besonderen Verhältnisse, unter denen die betreffenden Untersuchungen angestellt wurden, nicht angeführt sind.

Die Untersuchungen wurden nämlich auf einem Torfmoor vorgenommen, das sehr naß und weich war. Zum Vergleich mit der Temperatur dieses rohen Moors wurden Versuchspartzen angelegt, die von 3 Fuß (91,4 cm) tiefen Gräben umgeben waren und auf denen das Moor 3 Fuß tief umgegraben war.

Wenn man die Art und die Behandlung des Bodens berücksichtigt, kann behauptet werden, daß man die ermittelten Resultate nicht verallgemeinern und auf Dränungen in gewöhnlichem mineralischem Kulturboden übertragen darf. Die Untersuchungen erstrecken sich außerdem nur über eine kurze Periode in der warmen Jahreszeit, nämlich vom 7. bis zum 18. Juni 1837; sie umfassen nur ein durch offene Gräben entwässertes Moor, und es liegen keine Angaben über die Höhe des Grundwasserstandes vor, weder in dem so behandelten noch in dem damit verglichenen natürlich gelagerten Boden. *Parkes* empfiehlt denn auch die Anstellung weiterer Untersuchungen.

Nach den Untersuchungen von *Parkes* betrug die Durchschnittstemperatur innerhalb des angegebenen Zeitraumes:

	18 cm Tiefe	33 cm Tiefe
Entwässertes u. umgegrabenes Moor.	13,6° C	12,2° C
Nicht entwässertes Moor. . . . .	8,3° C	7,8° C
Unterschied	5,3° C	4,4° C

denen Bodenarten angestellt, und zwar mit einem in verschiedener Höhe gehaltenen Grundwasserstand. Die Untersuchungen wurden mit Hilfe von großen, eingegrabenen, zylindrischen Zinkgefäßen mit einer Oberfläche von 0,5 m<sup>2</sup> und einer Tiefe von 1,25 m ausgeführt. Wie aus beistehender Abbildung ersichtlich ist, sind die Gefäße so eingerichtet, daß man in ihnen das Grundwasser in beliebige Höhe einstellen kann. Dies geschieht entweder durch Abzapfen von Wasser mittels des Hahns oder dadurch, daß man der Flasche Wasser zuführt. Die Oberfläche des Wassers in der Flasche dient zur Kontrolle des Grundwasserstandes im Gefäß.



messungen in 4 cm Tiefe in Lehm- und Sandboden angegeben.

In der Tabelle sind die monatlichen Durchschnittszahlen für jede der vier täglichen Ablesungen sowie die mittleren monatlichen Werte für die täglichen maximalen Schwankungen angegeben. (Die Temperaturschwankungen sind zwischen 6 und 14 Uhr gemessen.)

18

# **Der Einfluß des Grundwasserstandes auf die Temperatur in Sand- und Lehm Boden bei Ablesung in 4 cm Tiefe**

Periode	Durchschnitt der Temperatur um 6 Uhr °C			Durchschnitt der Temperatur um 8 Uhr °C			Durchschnitt der Temperatur um 14 Uhr °C			Durchschnitt der Temperatur um 18 Uhr °C			Unterschied der Temperatur. um 6 und 14 Uhr		
Grundwasserstand unter der Oberfläche	31 cm	63 cm	94 cm	31 cm	63 cm	94 cm	31 cm	63 cm	94 cm	31 cm	63 cm	94 cm	31 cm	63 cm	94 cm
<b>1897</b>	<b>Nackter Sandboden</b>														
1. 7.-31. 7.	15,2	15,1	15,0	17,8	17,8	17,7	21,9	22,8	22,9	20,1	20,7	20,7	6,7	7,7	7,9
1. 8.-31. 8.	15,5	15,5	15,3	17,5	17,5	17,4	21,8	23,3	23,5	19,4	20,7	20,8	6,3	7,8	8,2
1. 9.-30. 9.	10,4	10,2	10,1	11,0	10,9	10,9	15,0	15,8	15,7	13,2	13,5	13,6	4,6	5,6	5,6
1.10.-31.10.	5,9	5,7	5,7	6,1	6,0	5,9	9,5	10,4	10,5	7,8	8,3	8,7	3,7	4,7	4,8
1. 7.-31.10.	11,8	11,6	11,5	13,1	13,1	13,0	17,1	18,1	18,2	15,1	15,8	16,0	5,3	6,5	6,7
<b>1897</b>	<b>Nackter Lehm Boden</b>														
1. 7.-31. 7.	15,3	15,3	15,2	17,6	17,6	17,6	21,6	22,2	22,0	20,2	20,8	20,7	6,3	6,9	6,8
1. 8.-31. 8.	15,6	15,7	15,6	17,4	17,4	17,3	22,0	23,1	22,8	20,2	21,0	20,8	6,6	7,4	7,2
1. 9.-30. 9.	10,5	10,5	10,3	11,2	11,1	11,0	15,4	15,5	15,4	13,6	13,8	13,5	4,9	5,0	5,1
1.10.-31.10.	6,0	6,0	5,7	6,2	6,3	6,1	9,8	10,1	10,1	8,3	8,5	8,4	3,8	4,1	4,4
1. 7.-31.10.	11,9	11,8	11,7	13,1	13,1	13,0	17,2	17,7	17,6	15,6	16,0	15,9	5,3	5,9	5,9
Grundwasserstand unter der Oberfläche	33 cm	66 cm	100 cm	33 cm	66 cm	100 cm	33 cm	66 cm	100 cm	33 cm	66 cm	100 cm	33 cm	66 cm	100 cm
<b>1898</b>	<b>Grasbewachsener Sandboden</b>														
12. 4.-30. 4.	3,0	2,9	2,9	4,2	4,1	4,1	8,9	10,0	10,2	6,8	7,4	7,5	5,9	7,1	7,3
1. 5.-31. 5.	8,6	8,2	8,1	9,8	9,8	9,6	14,2	14,9	14,9	12,3	12,8	12,8	5,6	6,7	6,8
1. 6.-30. 6.	13,3	13,1	12,9	14,4	14,7	14,4	18,7	20,8	21,0	16,4	17,6	17,4	5,4	7,7	8,1
1. 7.-31. 7.	13,6	13,4	13,2	13,9	14,2	14,0	16,6	18,0	17,8	16,0	17,1	17,0	3,0	4,6	4,6
1. 8.-31. 8.	15,1	14,7	14,5	15,8	16,2	15,9	20,9	22,9	23,0	18,8	20,1	20,3	5,8	8,2	8,5
1. 9.-30. 9.	12,0	11,2	11,0	12,4	11,8	11,6	17,2	18,4	18,3	15,1	15,6	15,6	5,2	7,2	7,3
1.10.-12.10.	9,0	8,2	7,9	9,5	9,0	8,7	12,5	13,2	13,1	11,5	11,6	11,6	3,5	5,0	5,2
12. 4.-12.10.	11,2	10,8	10,7	12,1	12,1	11,9	16,3	17,7	17,7	14,4	15,2	15,2	5,1	5,9	7,0
<b>1898</b>	<b>Grasbewachsener Lehm Boden</b>														
12. 4.-30. 4.	3,3	3,1	3,1	4,2	4,2	4,2	8,7	9,2	9,3	7,2	7,2	7,2	5,4	6,1	6,2
1. 5.-31. 5.	8,9	8,6	8,8	9,4	9,4	9,6	13,0	13,2	13,6	12,0	12,1	12,2	4,1	4,6	4,8
1. 6.-30. 6.	13,3	13,1	13,2	13,7	13,7	13,9	17,3	17,6	17,6	15,8	16,1	15,9	4,0	4,5	4,4
1. 7.-31. 7.	13,3	13,1	13,3	13,3	13,4	13,5	15,3	15,7	15,9	15,2	15,7	15,9	2,0	2,6	2,6
1. 8.-31. 8.	15,4	14,9	14,8	16,0	16,0	16,2	20,5	21,8	22,5	19,1	19,9	19,8	5,1	6,9	7,7
1. 9.-30. 9.	12,2	11,7	11,6	12,6	12,2	12,2	16,4	17,0	17,8	15,5	15,6	15,7	4,2	5,3	6,2
11.10.-12.10.	9,3	8,7	8,7	9,5	9,2	9,3	11,8	12,2	12,7	11,6	11,7	11,8	2,5	3,5	4,0
12. 4.-12.10.	11,4	11,0	11,1	11,8	11,8	11,9	15,4	15,9	16,3	14,2	14,5	14,6	4,0	4,9	5,2

Tab. 1



Temperatur für alle drei Grundwasserhöhen fast gleich. Um 14 Uhr dagegen hat der Boden mit dem tiefsten Grundwasserstand die höchste Temperatur. Dasselbe gilt, wenn auch in weniger ausgeprägtem Grade, für die Ablesung um 18 Uhr.

Diese Unterschiede lassen sich übrigens leicht erklären, und ein Vergleich zwischen den Ablesungen um 6 Uhr und um 18 Uhr deutet darauf, daß die Tagestemperatur des tief entwässerten Bodens zeitweilig durch die verhältnismäßig starke nächtliche Abkühlung ausgeglichen werden kann.

### Übersicht über die Wetterverhältnisse

Periode	Niederschlag mm	Mitteltemperatur der Luft ° C	Relative Feuchtigkeit der Luft in %
1. 7. — 31. 7. 1897	142,5	16,6	81
1. 8. — 31. 8. 1897	68,2	18,3	82
1. 9. — 30. 9. 1897	94,4	12,5	85
1. 10. — 31. 10. 1897	8,8	7,6	87
1. 7. — 31. 10. 1897	313,9	13,7	84
12. 4. — 30. 4. 1898	23,7	4,9	77
1. 5. — 31. 5. 1898	100,9	10,0	80
1. 6. — 30. 6. 1898	96,1	14,7	76
1. 7. — 31. 7. 1898	59,4	14,2	79
1. 8. — 31. 8. 1898	51,0	16,4	79
1. 9. — 30. 9. 1898	66,5	13,4	81
1. 10. — 12. 10. 1898	0,0	10,8	83
1. 5. — 30. 9. 1898	373,9	13,7	79

Tab. 2

Auf unbewachsenem Boden zeigen die Zahlen der monatlichen Mitteltemperaturen im Jahre 1897 nur eine geringe Wirkung der Höhe des Grundwassers, indem der Unterschied der mittleren Temperatur bei dem niedrigsten und dem höchsten Grundwasserstand als Mittel für die ganze Periode nur bei der Ablesung um 14 Uhr auf Sandboden 1° C übersteigt. Die Erklärung hierfür ist zum Teil in dem großen Niederschlag im Juli zu suchen, der in Verbindung mit der großen relativen Feuchtigkeit dazu beiträgt, den Unterschied in der Feuchtigkeit der oberen Schichten, der sich sonst zeigen würde, auszugleichen.

Auf dem mit Gras bewachsenen Boden (im Jahre 1898) wurde eine größere Wirkung der Höhe des Grundwassers beobachtet, besonders in den warmen Monaten und am stärksten bei der Ablesung um 14 Uhr auf Sandboden, wo sich zwei Monate lang ein Unterschied von mehr als 2° C ergeben hat, und zwar infolge des Grundwasserstandes, während der Lehm Boden niedrigere Wärmegrade und kleinere Unterschiede zwischen denselben zeigt. Es liegt Anlaß vor, die Aufmerksamkeit außer auf die mittleren Zahlen für die bei jeder der angegebenen Tageszeiten abgelesenen Wärmegrade auch auf die Zahlen

zu lenken, die die täglichen Schwankungen bei jeder Wasserstandshöhe angeben; diese sind nämlich von nicht geringer Bedeutung, da ja ein Wechsel der ausnutzbaren Wärmegrade das Wachstum der Pflanzen und die Stoffproduktion mehr fördert als die entsprechende, konstant gehaltene Durchschnittstemperatur. Es stellt sich hier heraus, daß diese Schwankungen recht bedeutend sind, bei niedrigem Grundwasserstand am größten — und größer bei Sandboden als bei Lehm Boden.

Diesen Resultaten gegenüber muß allerdings zugegeben werden, daß die Temperatur des Bodens in einer so geringen Tiefe, wie sie hier gemessen ist, nur für das Keimen der Saat und für die erste Entwicklung der jungen Pflanze besondere Bedeutung hat, obgleich die in den oberen Schichten herrschende Temperatur besonders bei Niederschlägen sich in die tieferen Schichten fortpflanzt. Wenn auch vorausgesetzt werden muß, daß die Höhe des Grundwassers die Temperatur in den oberen Bodenschichten stärker beeinflußt als in den tieferen, wäre es doch wünschenswert gewesen, wenn die Untersuchungen sich auch auf diese erstreckt hätten, aber solche Untersuchungen sind hier nicht gleichzeitig auf Boden mit verschiedenem Grundwasserstand vorgenommen worden.

In Ermangelung dessen ist es im Anschluß an das bereits Angeführte von Interesse, zu sehen, wie es sich mit der Temperatur in den verschiedenen Tiefen des Bodens mit gleichartigem und für den Pflanzenbau angemessenem Grundwasserstand verhält. Selbstverständlich wird eine Abkühlung des Nachts und eine Erwärmung am Tage bei den tieferen Bodenschichten von geringerem Einfluß sein als in den oberen Bodenschichten, und es fragt sich dann, in welchem Grade diese Wirkungen sich geltend machen.

### Die Temperatur in verschiedener Tiefe von 3 Bodenarten in nakedtem Zustand und bei einem Grundwasserstand 60 cm unter der Oberfläche

Periode	Bodenart	Niederschlag mm	Mitteltemperatur der Luft °C	Relative Feuchtig- keit der Luft in %	Durch- schnitts- tempe- ratur °C		Durch- schnitts- tempe- ratur °C		Durch- schnitts- tempe- ratur °C		Durch- schnitts- tempe- ratur °C		Durch- schnitts- tempe- ratur °C		Durch- schnitts- tempe- ratur °C	
					um 6 Uhr		um 12 Uhr		um 17 Uhr							
					5	10	5	10	5	10	5	10	5	10	5	10
					cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
<b>1911</b>																
1. 7.-31. 7.	Sandboden	56,5	17,1	75	15,2	15,8	24,1	21,8	23,5	23,0	20,9	20,2	8,9	7,2		
1. 7.-31. 7.	Lehmboden	56,5	17,1	75	16,0	16,3	22,3	20,3	22,4	21,4	20,2	19,3	6,4	5,1		
1. 7.-31. 7.	Hochmoor	56,5	17,1	75	15,4	16,9	20,0	17,9	20,9	19,5	18,8	18,1	5,5	2,4		
<b>1913</b>																
					10	25	10	25	10	25	10	25	10	25	10	25
					cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
1. 6.-30. 6.	Sandboden	28,3	15,1	71	14,3	15,7	17,5	16,4	19,3	18,1	17,0	16,7	5,0	2,6		
1. 6.-30. 6.	Lehmboden	28,3	15,1	71	15,2	16,7	17,5	16,5	19,2	17,1	17,3	16,8	4,0	0,4		
1. 6.-30. 6.	Hochmoor	28,3	15,1	71	15,3	16,8	16,0	16,8	17,3	16,8	16,2	16,8	2,0	0,0		

Die Mitteltemperatur und die relative Feuchtigkeit der Luft sind der Durchschnitt von 3 täglichen Abmessungen um 8, 14 und 21 Uhr.

Tab. 3.

In Tabelle 3, die außer den früher beschriebenen Arten von Sandboden und Lehm Boden zugleich Hochmoorboden umfaßt, sind Zahlen für die Temperatur bei drei täglichen Ablesungen angegeben, nämlich im Juli 1911 für 5 cm und 10 cm Tiefe, und im Juni 1913 für 10 cm und 25 cm Tiefe. In der warmen Jahreszeit liegen keine gleichzeitigen Beobachtungen über alle drei Tiefen vor, die Zahlen für 10 cm Tiefe müssen deshalb als Bindeglied zwischen den beiden Beobachtungsreihen dienen.

Bei der Ablesung um 6 Uhr geht die Temperatur wegen der gesteigerten Insolation überall mit der Tiefe in die Höhe. Der Unterschied zwischen 5 und 10 cm Tiefe ist bei dem Moorboden am größten, bei dem Lehm Boden am geringsten, während der Unterschied zwischen 10 und 25 cm Tiefe bei allen drei Bodenarten ungefähr gleich ist. Bei den beiden späteren Ablesungen nimmt dagegen die Temperatur aus demselben Grunde mit der Tiefe ab. Eine Ausnahme macht jedoch der Moorboden, der in 10 cm Tiefe auf die Lufttemperatur nur langsam und in geringem Grade reagiert und der sich in 25 cm Tiefe von dem Temperaturwechsel bei Tag und bei Nacht unbeeinflusst zeigt. Die Zahlen der täglichen Schwankungen in verschiedener Tiefe zeigen im ganzen sehr charakteristische Unterschiede zwischen den drei Bodenarten, was ohne Zweifel im wesentlichen von ihrem verschiedenen Wasserhaltevermögen herrührt.

Besondere Untersuchungen zum Vergleich zwischen den Temperaturverhältnissen in Sandboden, Lehm Boden und in stark zersetztem, amorphem Niedermoor (Flachlandmoor) haben gezeigt, daß dieses sich den beiden genannten Mineralböden gegenüber ähnlich wie Hochmoorboden verhält, jedoch mit weniger ausgeprägten Abweichungen.

Die obigen Untersuchungen über die Temperatur des Bodens sind hauptsächlich in der Frühjahrs- und in der Sommerzeit angestellt worden. In den kühlen Herbstmonaten, wo in Dänemark außer Wintergetreide noch Hackfrüchte und verschiedene Futterpflanzen auf dem Felde stehen, besteht nur ein geringer Unterschied zwischen den Durchschnittstemperaturen in Sandboden bzw. Lehm Boden und in Moorboden. In Tiefen von 10 cm und 25 cm ergab sich so z. B. im Oktober 1912 bei einer Lufttemperatur von  $7,1^{\circ}\text{C}$  eine Maximaldifferenz von  $0,2\text{--}0,3^{\circ}\text{C}$ , während die Wärmegrade in einer Tiefe von 5 cm  $7,3^{\circ}\text{C}$  bei Sandboden,  $7,2^{\circ}\text{C}$  bei Lehm Boden und  $6,9^{\circ}\text{C}$  bei Moorboden betragen; der Durchschnitt der täglichen Schwankungen zwischen 8 Uhr und 17 Uhr variierte von  $2,0^{\circ}\text{C}$  bei Sandboden in 5 cm Tiefe bis  $0^{\circ}\text{C}$  bei Moorboden in 25 cm Tiefe. Schließlich soll daran erinnert werden, daß die Resultate, die aus obigen Untersuchungen hervorgehen, nicht auf diejenigen Areale übertragen werden dürfen, wo Druckwasser von Quellen in der Nähe der Oberfläche des nicht entwässerten Bodens hervortritt. Hier werden sich die Verhältnisse ganz anders gestalten, besonders wird der Einfluß der Absenkung des Grundwassers auf die Temperatur des Bodens in der warmen Jahreszeit viel stärker sein als hier angegeben.

Die vorstehenden Ausführungen über Temperaturverhältnisse in Böden mit verschiedenem Grundwasserstand sind vermutlich von

einigem Interesse. Leider wurde Prof. *Westermann* durch den Tod daran verhindert, sie selbst hier vorzulegen.

Ich bin der Ansicht, daß ich an seiner Stelle und in seinem Namen dazu berechtigt bin. Kurz vor seinem Tode überließ er mir das Manuskript zur Durchsicht, und nach seinem Tode haben seine Erben und die Königlich Dänische Landwirtschafts-Gesellschaft mich gebeten, für die Veröffentlichung seiner hinterlassenen Arbeit über Dränung, wovon das hier Angeführte einen Abschnitt bildet, Sorge zu tragen. Der Abschnitt ist im wesentlichen wortgetreu zitiert und ist nur durch weitere Angaben über die Untersuchungen von *Parkes* und über Untersuchungen, die von der dänischen Heidegesellschaft ausgeführt wurden, ergänzt.

## 4. Rapports entre le sol et l'eau

Par

M. le Prof. E. Diserens à Zurich, Suisse.

### *a) Unités de mesure des grandeurs physiques du sol.*

Il faut bien distinguer dans l'énoncé des grandeurs physiques entre les propriétés exprimées en unités CGS ou au moyen des unités métriques (Technisches Maßsystem). Les déterminations de laboratoire à caractère scientifique seront basées de préférence sur les unités du système CGS. Les études courantes de laboratoire, qu'il s'agisse des propriétés physiques dites classiques, des propriétés hydrodynamiques ou mécaniques des terres utiliseront plus volontiers les unités du système métrique.

### *b) Analyse mécanique des terres.*

On se réfère aux décisions de la conférence de la première commission AISS tenue à Versailles en juillet 1934 (physique du sol). Les déterminations effectuées avec l'appareil *Kopecký* présentent le degré d'exactitude que l'on peut obtenir dans ce domaine. L'ouvrage de *Gessner*: «Die Schlämmanalyse, Leipzig 1931» sert de base à ces déterminations. Les vitesses d'ascension de l'eau dans les trois cylindres sont dans le rapport 35:10:1 et non pas suivant indications page 126 de l'ouvrage cité. Les particules décantables (abschlamm-baren Teile) évacuées du gros cylindre sont  $< 0,016$  mm et non  $< 0,015$  mm comme le calcul utilisant la formule de *Stokes* l'indique. Les résultats obtenus en utilisant l'appareil *Kopecký* peuvent être adaptés à la classification internationale.

### *c) Classification des terres basée sur les résultats de l'analyse mécanique.*

Il est indiqué de faire correspondre les appellations courantes des terres avec leurs propriétés hydro-dynamiques. C'est la raison pour laquelle la teneur en particules décantables est prépondérante. La représentation graphique de la classification des terres a été publiée en 1927 par la commission des normes du groupe SIA des ingénieurs ruraux et topographes. Le Département fédéral de l'Economie publique qui a publié ces normes peu après a tenu compte de nos propositions concernant de légères modifications à la classification SIA. Celle-ci est analogue aux indications contenues dans Department circular 419 de USA, janvier 1927.

Les établissements suisses de recherches agricoles ont reconnu que la classification contenue dans les instructions du Département de l'Economie publique exprime assez convenablement les propriétés courantes des terres.

*d) Les propriétés hydro-dynamiques des terres.*

Les unités de mesure ont été examinées par le deuxième Congrès international du génie rural qui eut lieu à Madrid 1935. Le rapporteur général Monsieur le Prof. *Blanc* a fait ressortir l'analogie des définitions entre l'hydraulique appliquée et l'hydrodynamique souterraine ainsi qu'avec l'électricité.

Le congrès a adopté les expressions vitesse de filtration, coefficient de perméabilité et hauteur capillaire, correspondant en somme aux définitions données par *Porchet* dans son étude sur l'écoulement souterrain des eaux, publiée en 1923.

Le soussigné avait proposé les définitions contenues dans la communication intitulée: «Méthodes pour déterminer la perméabilité des terrains en place» et notamment:

«La vitesse apparente d'un liquide à travers un milieu perméable est proportionnelle à la pente motrice et au coefficient de filtration. Le débit du liquide en mouvement est égal à la vitesse apparente divisée par le coefficient de perméabilité. Le coefficient de perméabilité est le rapport entre le volume d'eau mobile du sol et le volume apparent de ce sol.»

Aux séances de la commission I (Physique du sol, Versailles 1934) Dr. *Hooghoudt* de Groningen a montré dans une étude approfondie intitulée: «Recherches sur quelques grandeurs physiques du sol» par quels procédés les propriétés hydro-dynamiques peuvent être déterminées avec une grande exactitude au laboratoire. Il a également montré la liaison valable pour les sols sableux existant entre ces propriétés et le rapport spécifique de la surface introduit par *Zunker*.

*Terzaghi* a décrit dans «Erdbaumechanik auf bodenphysikalischen Grundlagen (1925)» les procédés permettant d'obtenir la vitesse de filtration des terres cohérentes, spécialement les argiles, sous une pression quelconque. Il a ainsi montré comment on peut déterminer les propriétés d'un échantillon de sol prélevé à une profondeur quelconque de façon que sa structure initiale soit aussi peu modifiée que possible.

Les travaux effectués par *Tanner* au kulturtechn. Laboratorium der ETH en 1926 ont mis en évidence l'influence de la température et la viscosité de l'eau sur les valeurs du coefficient de filtration. *Tanner* a également reconnu l'influence des colloïdes du sol sur ces propriétés. Consulter à ce sujet: Einführung in die Untersuchungsmethoden für kulturtechnische Arbeiten, publié en 1927.

La «Engineering Experiment Station du Iowa State College» avait déjà reconnu l'influence de la température et d'autres facteurs tels que la pression barométrique sur les grandeurs physiques du sol, les variations de niveau et surtout le débit des nappes souterraines. L'influence de ces facteurs a été reconnue au cours des observations en plein champ organisées par nos soins de 1927 à 1930.

### e) Loi générale de filtration.

La communication au deuxième Congrès International de la Science du Sol (Leningrad et Moscou 1930) qui a pour titre «Les méthodes scientifiques pour l'étude des nappes souterraines» précise quelques étapes relatives à l'étude des lois d'écoulement souterrain de l'eau.

*Dupuit* (1865) avait écrit: «Si l'eau s'écoule dans un tuyau de section constante sous une charge piézométrique  $h$

$$\left( \text{vitesse } u = \frac{\text{débit}}{\text{sect.}} \right) \text{ on a}$$

$$h = aq + bq^2$$

où  $q$  est le débit. En négligeant le second membre du binôme exprimant la perte de charge en fonction de la vitesse (ou du débit), cette dernière est proportionnelle à la charge.» C'est alors la loi dite de *Darcy* (1856).

Die Abdichtungskommission des Schweizerischen Wasserwirtschaftsverbandes, c'est-à-dire la commission des colmatages de l'association suisse pour l'aménagement des eaux, a publié en 1927 sous titre «Versuche zur Ermittlung des Durchflußgesetzes und der Durchlässigkeitskonstanten für den Durchfluß von Wasser durch Kies und Sand.» Cette commission indique seulement les valeurs de  $m$  et  $A$  de la loi générale  $V^m = A.J$  pour diverses valeurs de la vitesse de filtration.

Nous donnons l'expression du binôme de la loi générale de filtration sous forme  $m = 1,06 + 0,047 \cdot V$  et  $V^{1,07+0,047} = A.J$ . Cette loi résulte des travaux de l'ingénieur *W. Hugentobler*. Sous le titre: «Einführung in die Untersuchungsmethoden für kulturtechnische Arbeiten» (1926) nous avons indiqué comment on détermine aisément les coefficients de la loi générale  $V^m = A.J$  et comment on passe de cette loi celle de *Darcy*.

*Porchet*, dans son étude sur l'écoulement souterrain des eaux (1923) admet l'exactitude de la loi de *Darcy*. Or, l'utilisation de ses huit séries d'observations de 1921 et 1922 conduit à l'exposant moyen  $m = 1,03$  de la loi générale.

*Reynolds* (1883—1894) a montré dans quelles conditions l'écoulement souterrain est laminaire (geschichtet) ou turbulent (wirbelnd).

Pour bon nombre de terrains et les applications courantes, on peut admettre l'exactitude de la loi de *Darcy*.

## 5. Über täglich wiederkehrende Druckschwankungen im Bodenwasser

Von

Prof. Dr. Ing. *Josef Donat*, Wien, Österreich.

In den letzten Jahren ist von verschiedenen Seiten über eine Erscheinung berichtet worden, die in den Ergebnissen kurzfristiger oder stetig durchgeführter Grundwasserbeobachtungen zum Ausdruck kommt, nämlich über täglich wiederkehrende Schwankungen des Wasserstandes in Grundwasserbeobachtungsrohren.<sup>1)</sup> Danach zeigt der Wasserspiegel in Bohrlöchern während niederschlagsfreier Zeit einen nach Ablauf von 24 Stunden sich wiederholenden Auf- und Niedergang, dessen Ausmaß nach den verschiedenen Feststellungen sich zwischen Bruchteilen eines Millimeters und etwas mehr als einem Dezimeter bewegt. Soweit Messungen über einen längeren Zeitraum vorliegen, lassen sie erkennen, daß diese Schwingungen im Sommer am stärksten sind, gegen die kältere Jahreszeit hin abnehmen, um in den Wintermonaten ganz zu verschwinden.

Die Beobachtung dieses Vorganges und auch die Versuche, sein Zustandekommen zu erklären, sind nicht neu, denn *F. H. King*<sup>2)</sup> berichtete hierüber schon vor mehr als 40 Jahren. Nach ihm handelt es sich dabei im wesentlichen um die Einflüsse der täglichen Änderungen des Luftdrucks, der Bodentemperatur und der durch die Pflanzen verursachten Wasserentnahme aus dem Boden. Diesen Erklärungsversuchen hat neuerdings *Thal Larsen*<sup>3)</sup> einen weiteren, ganz neuen zugesellt, indem er die Wirkung der Wasserzufuhr zum Boden in Gestalt der täglich sich wiederholenden Taubildung in Betracht zieht.

Der Umstand, daß es sich um eine Summenwirkung verschiedener Einflüsse handelt, von denen je nach den gegebenen Umständen bald der eine, bald der andere in den Vordergrund treten kann, erschwert die Darstellung der Erscheinung und die Vergleichbarkeit unter verschiedenen Bedingungen angestellter Beobachtungen. Wenn auf diesen Gegenstand in der Folge näher eingegangen wird, so geschieht dies, um die Bedeutung der einzelnen in Frage kommenden Wirkungen gegeneinander abzuwägen.

---

<sup>1)</sup> *J. H. Thal Larsen*, Verh. d. VI. Komm. d. Int. Bodenk. Ges. Groningen 1932, B S. 168. *R. Bousek*, Die Wasserwirtschaft, Wien 1933, S. 300. *J. Kozeny*, ebenda, S. 424. *C. Abwieser*, Wasserwirtsch. u. Technik, Wien 1935, S. 156.

<sup>2)</sup> U. S. Dep. of Agric. Weather Bur. Bull. 5, Washington 1892; angef. nach *Wollny*, Forschungen a. d. Geb. d. Agrikulturphysik 18 (1895), S. 99.

<sup>3)</sup> Bodenkundl. Forschungen 4 (1935), S. 223.



Anläßlich der auf dem Dränungs-Versuchsfeld Söllheim in den Jahren 1932 bis 1934 mit Hilfe selbstschreibender Meßeinrichtungen in 15 cm weiten Standrohren durchgeführten Grundwasser-Beobachtungen hatte ich Gelegenheit, den besprochenen Vorgang ebenfalls zu beobachten. Auch hier zeigte sich die früher erwähnte Abhängigkeit des Schwankungsmaßes von der Jahreszeit. Von der 24stündigen Gesamtdauer entfiel rund ein Viertel auf den Anstieg. Die Höhenunterschiede aufeinanderfolgender Höchst- und Tiefstlagen waren besonders groß an klaren Tagen mit großem Temperaturschlag und dann, wenn eine stärkere Durchfeuchtung des Bodens vorangegangen war. In solchen Fällen wurden Beträge von etwas mehr als 2 cm

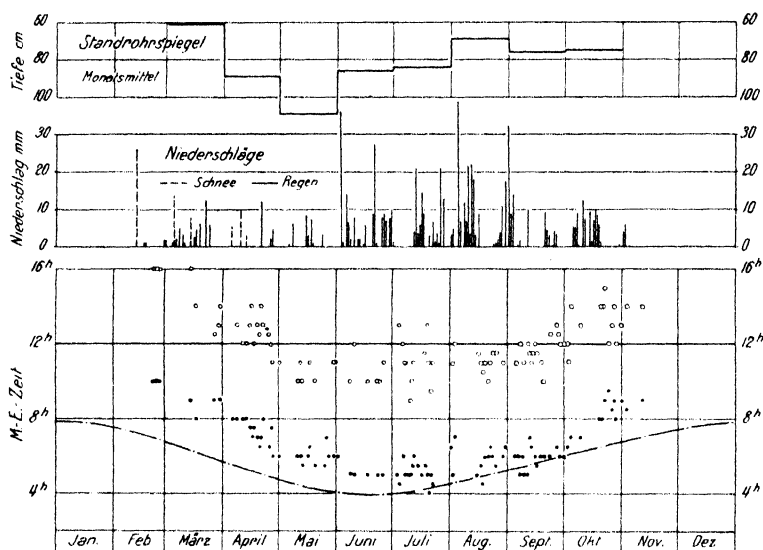


Abb. 1

erreicht. Jede Störung der Regelmäßigkeit des täglichen Temperaturganges kam in einer Verminderung des Schwankungsmaßes zum Ausdruck. Die Versuchsfläche wurde als Wiese genutzt.

In der Abb. 1 sind die während des Jahres 1934 beobachteten Eintrittszeiten der täglichen Tiefstlagen des Standrohrspiegels durch Punkte, jene der Höchstlagen durch Ringe kenntlich gemacht worden. Die gestrichelte Linie verbindet die Zeitpunkte des Sonnenaufganges. Oberhalb sind die Tagesniederschläge sowie die Monatsmittel der Standrohrspiegelstände unter Flur eingetragen. Während sich nun von den beiden letztgenannten Größen keine deutliche Abhängigkeit des zeitlichen Auftretens der Erscheinung feststellen läßt, ist der Zusammenhang mit dem täglichen Gang der Wärmezufuhr sehr klar gegeben. Da auch die Beobachtungen des Jahres 1933 dasselbe Bild liefern, wird man schließen dürfen, daß es sich im vorliegenden Falle um Druckschwankungen im Bodenwasser handelt, die unmittelbar oder mittelbar zum Wärmehaushalt des Bodens in Beziehung stehen.

Weil es sich im folgenden um die Erklärung von Druckschwankungen im Bodenwasser handelt, dürfte es angezeigt sein, sich vorerst ein Bild über die Leistungsfähigkeit der für diesen besonderen Zweck verwendeten Meßeinrichtungen zu verschaffen. Wir werden nämlich zu dem Schluß kommen, daß uns nur ein recht unvollkommenes Mittel zur Verfügung steht. Mögen die Druckmessungen an eigens für solche Zwecke angelegten Beobachtungsrohren oder aber an Brunnen, Gruben u. dgl. vorgenommen werden, allen diesen Einrichtungen ist gemeinsam, daß die Druckanzeige eine Änderung des Wasservorrates des benachbarten Bodens erfordert. Die Hebung und Senkung des Standrohrspiegels kommt ja dadurch zustande, daß Wasser aus dem Boden in das Beobachtungsrohr eintritt, oder daß es umgekehrt aus diesem in den Boden übergeht. Die Druckanzeige ist dadurch auf das innigste verquickt mit einer Änderung des Wasserinhaltes des Bodens.

Diese selbst setzt, als eine mit Reibungswiderständen verbundene Bewegungserscheinung, Druckunterschiede zwischen dem Bodenwasser und dem Wasser in der Bohrung voraus und verursacht Abweichungen der Messungsergebnisse vom wahren Betrag des Druckes, die um so größer sein müssen, je rascher die Druckänderungen aufeinander folgen, sind je größer die der Wasserbewegung entgegenstehenden Hindernisse und. Neben diesem fallweise außerordentlich stark dämpfenden Einfluß ist aber noch auf einen anderen Umstand Bedacht zu nehmen.

Theorie und Erfahrung lehren, daß jede Wassergehalts-Änderung eines Bodens eine Änderung des Spannungszustandes des im Boden enthaltenen Wassers mit sich bringt. So hat jegliche Wasserzufuhr eine Erniedrigung, jeder Wasserentzug eine Erhöhung der Saugspannung im Kapillarwasser zur Folge. Das Maß dieser Spannungsänderung ist je nach Beschaffenheit und Wassergehalt des Bodens sehr verschieden; im allgemeinen ist es um so erheblicher, je feinkörniger und je trockener ein Boden ist.

Wenn nun im Falle einer Wassergehalts-Steigerung der Druck im Bodenwasser zunimmt und der Standrohrspiegel dies durch seine Hebung anzeigt, dann ist zu berücksichtigen, daß ein Teil des zugeführten Wassers zur Erhöhung des Wasserstandes im Rohr Verwendung findet, womit die Wasserzufuhr zum Boden eine Herabsetzung um diesen Anteil erfährt. Abgesehen von der früher erwähnten dämpfenden Wirkung, könnte die Druckanzeige nur dann richtig sein, wenn das Wasservolumen, um welches sich der Inhalt des Beobachtungsrohres ändert, verschwindend gering wäre, im Vergleich zu jenem, das die Änderung des Wassergehaltes des Bodenraumes bewirkt, der sich an der Belieferung des Bohrloches praktisch beteiligt. Dieser Bodenraum ist nicht unbegrenzt, wenn wir endliche, nicht zu lange Zeiträume in Betracht ziehen, weil die Widerstände gegen die Wasserbewegung von und zu der Bohrung mit wachsender Entfernung von dieser sehr rasch zunehmen. Im Einzelfalle muß also die Druckanzeige auch aus diesem Grunde mehr oder weniger hinter dem tatsächlichen Druck zurückbleiben, und zwar um so mehr, je größer das zur Messung erforderliche Wasservolumen im Verhältnis zur Wassergehalts-Änderung des beitragenden Bodens ist.

Das gleiche muß sinngemäß auch für die Druckabnahme im Falle eines Wasserentzuges aus dem Boden gelten, darüber hinaus aber auch für alle jene Druckschwankungen, die an sich ohne Änderung des Boden-Wassergehaltes erfolgen würden.

Aus diesen Erörterungen geht zunächst hervor, daß die beobachteten täglich wiederkehrenden Druckschwankungen keinen Anhaltspunkt über die wirkliche Größe der auftretenden Druckänderungen zu geben vermögen. Dabei sind Fälle vorausgesetzt, wo die Erscheinung sich im Bereiche verhältnismäßig niedriger Saugspannungen abspielt, also in Böden mit ansehnlichem Wassergehalt und seichter Lage des Grundwasserspiegels. Nun läßt uns aber das Meßverfahren vollkommen im Stich, wenn wir die Druckänderungen erfassen wollen, die sich im Bereiche jener wesentlich geringeren Feuchtigkeitsgrade vollziehen, die im durchwurzelten Bodenraum häufig auftreten und innerhalb deren es sich um sehr geringfügige Wassergehalts-Änderungen bei gleichzeitig sehr beträchtlichen Spannungsverschiebungen handelt. In solchen Fällen wird aus dem Umstand, daß derartige Druckschwankungen nicht zu beobachten sind, nicht darauf geschlossen werden dürfen, daß solche überhaupt nicht vorkommen; denn, wie später nachgewiesen werden wird, ergeben sie sich als notwendige Folge physikalischer Gesetzmäßigkeiten.

Nach dieser Kennzeichnung der Unzulänglichkeit des Meßverfahrens ist nun auf die verschiedenen Möglichkeiten der Entstehung von Spannungsänderungen im Bodenwasser näher einzugehen. Wir wollen da unterscheiden zwischen *unmittelbaren Wärmewirkungen*, die an sich ohne eine Änderung des Wassergehaltes des Bodens vorsichgehen, und *mittelbaren Wärmewirkungen*, die erst auf dem Umweg über einen Wasserentzug durch Verdunstung oder eine Wasserzufuhr durch Niederschlag Einfluß auf die Druckverhältnisse nehmen.

### 1. Unmittelbare Wärmewirkungen.

#### a) Die Wirkung der Änderung der Oberflächenspannung des Wassers.

Die Oberflächenspannung des Wassers nimmt bei einer Temperaturerhöhung um 1°, innerhalb des praktisch in Betracht kommenden Bereiches, um rund 0,2 v. H. ab. Die Wirkung dieser Änderung läßt sich am besten an Hand der Gleichung über die Verminderung des Binnendruckes

$$p = 2\sigma \left( \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right) \quad . . . . . (1)$$

erläutern. Darin ist  $p$  der an der gekrümmten Oberfläche des Kapillarswassers herrschende Unterdruck,  $\sigma$  die Oberflächenspannung des

Wassers und  $\left( \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)$  das mittlere Krümmungsmaß der das Wasser gegen den Dampfraum begrenzenden Menisken.

Jede Änderung von  $\sigma$  muß sich, bei gleichbleibendem Krümmungsmaß, in einer verhältnismäßigen Steigerung oder Herabsetzung

des im Wasser vorhandenen Unterdrucks äußern. Jede Erwärmung hat dann eine Verminderung, jede Abkühlung eine Vergrößerung der Saugspannung im Kapillarwasser zur Folge. Die folgende Zahlen-  
 tafel 1 gibt einen Anhaltspunkt über die Größe der in Betracht kommenden Spannungsänderungen.

*Zahlentafel 1.*

Unterdruck im Bodenwasser	{	10	50	100	500	1000	5000	10 000 cm
								Wassersäule
Spannungsän- derung für 10° Temperatur- änderung	{	0,2	1	2	10	20	100	200 cm
								Wassersäule

Wechselnde Erwärmung und Abkühlung des Bodens vermag demnach Spannungsänderungen im Bodenwasser hervorzurufen, die gegen die höheren Saugspannungen, also gegen die kleineren Wassergehalte hin, zunehmen, um im Bereiche sehr hoher Unterdrücke, wie sie größenordnungsmäßig etwa den Saugkräften der Wurzeln unserer Kulturpflanzen entsprechen, recht erhebliche Absolutbeträge erreichen können. Es ist nach den früheren Ausführungen klar, daß diese bedeutenden Druckänderungen, die sich bei Wassergehalten abspielen, wo der Einfluß der Schwerkraft bereits weit in den Hintergrund tritt, mit Hilfe der Standrohrbeobachtung nicht erfaßt werden können.

Erfolgt nun die Änderung der Temperatur eines Bodens nicht gleichmäßig in allen seinen Teilen, ein Fall, der in der Natur die Regel bildet, dann muß es zur Ausbildung von neuen oder zur Verstärkung oder Abschwächung von bestehenden Spannungsunterschieden kommen, und damit zu einer Änderung des Bewegungszustandes des Bodenwassers. Die auf diese Weise durch Temperaturunterschiede verursachte Wasserbewegung, die im Falle eines großen Temperaturgefälles immerhin einige Bedeutung erlangen kann, ist von wärmeren zu kälteren Stellen gerichtet und überlagert eine etwa bereits aus anderen Ursachen vor sich gehende Strömung.

Im Bereiche kleiner Saugspannungen, wie wir sie bei flacher Lage des Grundwasserspiegels vor uns haben, ist die eben behandelte Wärmewirkung für das Zustandekommen der beobachteten Druckschwankungen völlig belanglos. In diesen Fällen tritt jedoch eine zweite unmittelbare Wärmewirkung in den Vordergrund.

#### *b) Die Druckänderungen der abgeschnürten Bodenluft.*

W. Schmidt und P. Lehmann<sup>1)</sup> haben anlässlich ihrer Versuche zur Bodenatmung darauf hingewiesen, daß ein mehr oder minder großer Teil der im Boden vorhandenen Luft nicht in der Lage ist, am Ausgleich der Druckschwankungen der freien Atmosphäre teilzunehmen, da er durch wassererfüllte kapillare Räume von der Außenluft «abgeschnürt» ist. Die Genannten fanden, daß, selbst bei langsame Wasserzufuhr durch kapillaren Aufstieg, in dem von ihnen

<sup>1)</sup> Sitzungsber. d. Akad. d. Wiss. Wien 1929, IIa, S. 836.

untersuchten Sandboden beträchtliche Luftmengen abgeschnürt wurden und daß deren Ausmaß, besonders im Bereiche hohen Wassergehaltes, bei jeder neuen Feuchtigkeitssteigerung ein Vielfaches des zusätzlich zugeführten Wasservolumens erreichte. So wurden beispielsweise bei einem Wassergehalt, der  $\frac{2}{3}$  des Porenraumes füllte, durch jede weitere Wasserzufuhr das 7fache Volumen an Luft abgeschnürt.

In der Natur, wo die Anfeuchtung viel rascher vor sich geht und überdies, im Gegensatz zu den Versuchen, von oben her erfolgt, so daß das Entweichen der Luft entgegen der Strömungsrichtung des eindringenden Wassers vor sich gehen muß, wird das Ausmaß dieser Luftabschnürung sicherlich noch bedeutend größer sein. Jedenfalls müssen wir mit dem Vorhandensein solcher Lufteinschlüsse rechnen.

Bei einer Erwärmung oder Abkühlung des Bodens werden nun in diesen allseits von Wasser umgebenen Lufträumen (Bläschen) Druckänderungen hervorgerufen, die auf das umgebende Wasser übertragen werden und sich durch Vergrößerung oder Verkleinerung der Lufträume auszugleichen streben. Weil dies aber die Verlagerung des abschnürenden Wassers, also eine Wasserbewegung voraussetzt, die Reibungswiderstände überwinden muß, kann sich ein derartiger Druckausgleich nur allmählich und unvollkommen vollziehen.

Um die Größe dieses Einflusses auf die täglichen Druckschwankungen abschätzen zu können, ist es notwendig, die Gleichgewichtsbedingungen solcher Lufteinschlüsse näher zu untersuchen. Wir betrachten zu diesem Zwecke eine kugelförmige, allseitig von Wasser umgebene Luftblase vom Halbmesser  $r$ .

Infolge der Wirkung der Oberflächenspannung des Wassers, welche die Oberfläche eines solchen Lufteinschlusses zu verringern sucht, erfährt die Druckspannung im Inneren der Blase eine Erhöhung gegenüber dem im Wasser herrschenden Außendruck. Ist allgemein die Druckspannung im Wasser  $p_a$ , jene in der Luftblase  $p_i$ , dann ist der auf die Oberfläche  $O$  des Lufteinschlusses nach außen wirkende Drucküberschuß  $(p_i - p_a) \cdot O = p \cdot O$ . Bei einer Zunahme des Halbmessers  $r$  um den sehr kleinen Betrag  $\rho$  ist die geleistete Arbeit  $O \cdot p \cdot \rho$ . Mit dieser ist eine Vergrößerung der Oberfläche um das Maß  $\omega$  verbunden, das sich wegen der vorausgesetzten Kleinheit von  $\rho$  mit

$\omega = 2O \frac{\rho}{r}$  ergibt. Die daraus hervorgehende Vergrößerung der Oberflächenenergie muß gleich der vom Drucküberschuß geleisteten Arbeit sein, so daß  $2O \frac{\rho}{r} \sigma = O p \rho$  gilt, woraus folgt, daß

$$p = p_i - p_a = 2 \frac{\sigma}{r} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

Denken wir uns die Temperatur des Wassers und der eingeschlossenen Luft von absolut  $T$  auf  $T'$  erhöht, dann steigt der ursprüngliche Innendruck  $p_i$ , bei gleichbleibendem Volumen, also vollständigem Mangel an Ausdehnungsmöglichkeit, gemäß der Zustandsgleichung für ideale Gase  $p \cdot V = R \cdot T$  auf  $p'_i = p_i \frac{T'}{T}$ . Gleichzeitig

vermindert sich aber auch die Oberflächenspannung des Wassers vom Betrag  $\sigma$  auf  $\sigma'$ , und zwar in dem früher angegebenen Maß, das formelmäßig durch die Gleichung  $\sigma' = \sigma [1 - 0,002 (T' - T)]$  dargestellt werden kann.

Die der erhöhten Innenspannung  $p'_i$  das Gleichgewicht haltende Außenpressung muß dann, gemäß Gleichung 2

$$p'_a = p_i \frac{T'}{T} - 2 \frac{\sigma}{r} \left[ 1 - 0,002 (T' - T) \right]$$

werden, so daß sich schließlich als Maß der Spannungserhöhung im Wasser

$$\Delta p_a = p'_a - p_a = p_i \left( \frac{T'}{T} - 1 \right) + \frac{0,004 \cdot \sigma}{r} (T' - T) \quad (3)$$

ergibt.

Die folgende Zahlentafel 2 vermittelt einen Überblick über die Größe der Spannungsänderung, die einer Temperaturänderung um  $10^\circ$  (von  $+10^\circ$  bis  $+20^\circ$ ) bei verschiedenen Anfangspressungen im Wasser und verschiedenen Halbmessern der Luftbläschen entspricht. Die Spannungen sind dabei in cm Wassersäule ausgedrückt, und zwar in der oberen Reihe ihrem absoluten Wert nach, in der unteren als Saugspannung gegenüber dem Atmosphärendruck. Es muß noch betont werden, daß bei den obigen Ableitungen die strenge Gültigkeit der Zustandsgleichung vorausgesetzt und einer Änderung der Löslichkeit der Luft im Wasser nicht Rechnung getragen worden ist.

Zahlentafel 2.

Druckspannung	1033	1023	933	533	33 cm W.-S.
Unterdruck	0	10	100	500	1000 cm W.-S.
r = 1,0 mm	36,2	35,8	32,6	18,6	1,2
0,1 mm	36,5	36,1	32,9	18,9	1,5
0,01 mm	39,2	38,8	35,6	21,6	4,2

Danach sind die aus der Erwärmung und Abkühlung der Luft-einschlüsse des Bodens zu erwartenden Spannungswechsel um so stärker ausgeprägt, je niedriger der anfänglich im Wasser vorhanden gewesene Unterdruck ist und je kleiner die Luftbläschen sind. Je enger also die Bodenporen sind, und je größer der Wassergehalt ist, desto erheblicher wird das Maß dieser Druckänderungen sein. Man wird daraus folgern dürfen, daß Feinkörnigkeit des Bodens, ferner eine starke Durchfeuchtung der obersten, den großen Temperaturänderungen unterworfenen Bodenschichten infolge hoher Lage des Grundwasserspiegels die behandelte Erscheinung besonders begünstigen wird.

Ein Vergleich der Zahlentafeln 1 und 2 läßt erkennen, daß der Einfluß der Spannungsänderungen der abgeschnürten Luft bis zu Unterdrücken im Kapillarwasser von etwa 500 cm Wassersäule die Wirkung der Änderung der Oberflächenspannung überwiegt, daß demnach bei den mittels Standrohren beobachteten Druckschwan-

kungen von den unmittelbaren Wärmewirkungen nur die unter 1 b) behandelte wesentlich beteiligt sein kann. Daß die bisher in der Natur beobachteten Ausmaße weit unter den Werten der Zahlen-  
tafel 2 bleiben, erklärt sich aus der eingangs besprochenen Unzulänglichkeit des Meßverfahrens, ferner aus dem Umstand, daß unter den natürlichen Verhältnissen die Möglichkeit der Ausdehnung der Luft-einschlüsse und selbst deren Übergang in frei bewegliche Luft immer in mehr oder minder großem Umfang gegeben ist. Des weiteren ist aber auch auf den Größenbetrag der Temperaturänderungen des Bodens Rücksicht zu nehmen.

Diese übersteigen an der Bodenoberfläche meist erheblich das Schwankungsmaß der Lufttemperatur und erreichen auch in größeren Bodentiefen von etwa 10 bis 30 cm (je nach der Wärmeleitfähigkeit und der Wärmekapazität des Bodens) noch immer Beträge von  $10^{\circ}$ . Dadurch freilich, daß diese Schwankungen der Tiefe nach nicht nur abgeschwächt, sondern auch verzögert werden, trifft die beginnende rasche Erwärmung der obersten Schichten noch mit einer Abkühlung tieferer Lagen zusammen. Umgekehrt befinden sich die oberen Bodenschichten schon im Zustande der Abkühlung, während sich in den unteren noch eine Erwärmung bemerkbar macht. Die durch die Temperaturänderungen hervorgerufenen Druckschwankungen stellen demnach eine Summenwirkung der in den einzelnen Tiefen sich abspielenden Vorgänge dar, und es wird einerseits von der Tiefenlage jener Bodenschichten, in denen sich reichliche Mengen an abgeschnürter Luft vorfinden, andererseits von der Wärmeleitfähigkeit des Bodens abhängen, welche Höhe die Druckwellen erreichen und welche zeitliche Verschiebung sie gegenüber den Temperaturwellen an der Bodenoberfläche erfahren.

Es sei noch kurz darauf hingewiesen, daß bei der Verwendung von Grundwasserbeobachtungsrohren aus Metall, also aus Stoffen von erheblich größerer Wärmeleitfähigkeit, als sie dem Boden zukommt, eine raschere Übertragung der Temperaturschwankungen der oberen Bodenschichten in tiefere Lagen durchaus möglich ist.

Eine Bestätigung für die Richtigkeit unserer vorstehend dargelegten Auffassung über die unmittelbaren Wärmewirkungen brachten Zimmerversuche, bei denen ein Lehmboden verwendet wurde, der in eine 80 cm lange Glasröhre von  $10 \text{ cm}^2$  Querschnitt eingerüttelt worden war. Die lotrecht gestellte Röhre war unten durch einen Stöpsel verschlossen, durch dessen Bohrung ein enges Glasröhrchen reichte, das mittels eines Gummischlauches mit einem Vorratsgefäß oder mit einem Standrohr verbunden werden konnte. Nach vollständiger Sättigung des Bodens mit Wasser wurde der freie Wasserspiegel auf 75 cm unter Bodenoberfläche gebracht, wobei sich in der Bodensäule durch Entwässerung die statische Feuchtigkeitsverteilung, mit nach oben hin abnehmendem Wassergehalt, einzustellen vermochte. Hierauf wurde das am unteren Ende der Röhre befindliche Röhrchen mit einer als Standrohr wirkenden Kreiskapillare von  $0,02 \text{ cm}^2$  Querschnitt, die eine Millimeter-Teilung trug, verbunden.

Ein dünner Gummischlauch, der in 3 Windungen der Röhre angelegt wurde und durch den man abwechselnd kaltes und warmes

Wasser hindurchschicken konnte, diente dazu, an einer bestimmten Stelle der Rohrwand eine Ringfläche von 1 cm Höhe und damit eine Schicht des angrenzenden Bodens zu erwärmen oder abzukühlen.

Die Abb. 2 zeigt das Ergebnis solcher Versuche, bei denen die Heizung in verschiedenen Höhen der Rohrwandung in der Weise

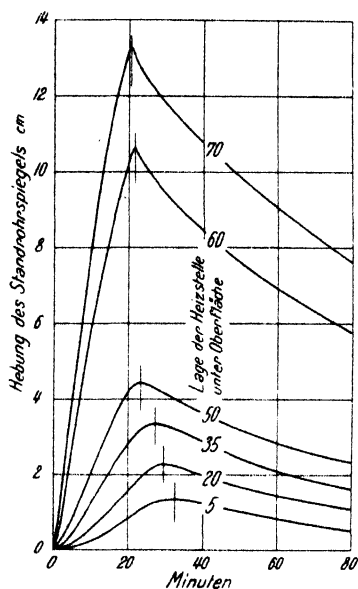


Abb. 2

vorgenommen wurde, daß jeweils nachdem sich die Temperatur in der ganzen Bodensäule auf 11° ausgeglichen hatte, während 20 Minuten warmes Wasser von 50° und anschließend kaltes Wasser von 10° durch den Heizschlauch geschickt wurde. Das Bild zeigt die beobachteten Ganglinien der Wasserstände im Standrohr. Je tiefer unter Bodenfläche die Temperaturänderungen vor sich gehen, desto größer sind die durch die fast gleiche Erwärmung hervorgerufenen Druckänderungen, weil mit zunehmendem Wassergehalt die Luftabschnürungen zahlreicher werden und gleichzeitig die mit einer Volumänderung verbundene Wasserverlagerung mit größeren Widerständen verbunden ist.

Am gleichen Versuchsobjekt konnte auch der Nachweis erbracht werden, daß selbst sehr rasche

Temperaturänderungen der Bodenoberfläche, die wegen der geringen Schwankungsdauer nur wenig tief in den Boden einzudringen vermögen, deutliche Standrohrspiegel-Ausschläge verursachen.

Bei diesen Versuchen wurde der Heizschlauch in mehrfacher Windung auf die Oberfläche des im Glasrohr befindlichen Bodens aufgelegt. Zur Feststellung der Temperaturänderungen im Inneren der Bodensäule diente das thermoelektrische Meßverfahren von W. Schmidt.<sup>1)</sup> Dabei wird ein 50 cm langes, 5 mm weites, einseitig geschlossenes Zellohorn-Röhrchen achsial in die Bodensäule eingedrückt und die Temperatur der Innenwand des an Ort und Stelle verbleibenden Röhrchens, die mit der Temperatur des anliegenden Bodens übereinstimmt, in der Weise gemessen, daß man mit der einen Lötstelle eines Thermoelementes die Wand abtastet, während die zweite Lötstelle dauernd in ein Wasserbad von gleichbleibender Temperatur taucht. Durch Messung des Thermostromes mittels eines Schleifengalvanometers (Bauart Zeiss) konnten die Temperaturen bis auf etwa 0,05° genau ermittelt werden.

<sup>1)</sup> Zeitschr. f. Instrumentenkunde 46 (1926), S. 431.

Für die leihweise Überlassung der Meßeinrichtung bin ich Herrn Prof. Dr. A. Schedler, Wien, zu Dank verpflichtet.



Die Abb. 3 zeigt die Ergebnisse eines solchen Versuches von 110 Minuten Dauer. Der Verlauf der Temperatur des Bodens ist mit Hilfe der sogenannten «Isoplethen-Darstellung» festgehalten worden. Oberhalb findet sich der Temperaturgang an der Bodenoberfläche und in 50 cm Tiefe, und darüber schließlich die Ganglinie des Wasserpiegels in der als Standrohr benutzten Kapillare.

Durch die Erwärmung und Abkühlung sowie neuerliche Erwärmung der Bodenoberfläche wurde einer langsam vor sich gehenden Temperaturerhöhung der ganzen Bodensäule eine Temperaturschwingung überlagert, deren Wirkung infolge der Kürze der angewandten Schwingungsdauer sich im wesentlichen auf die obersten 10 cm der

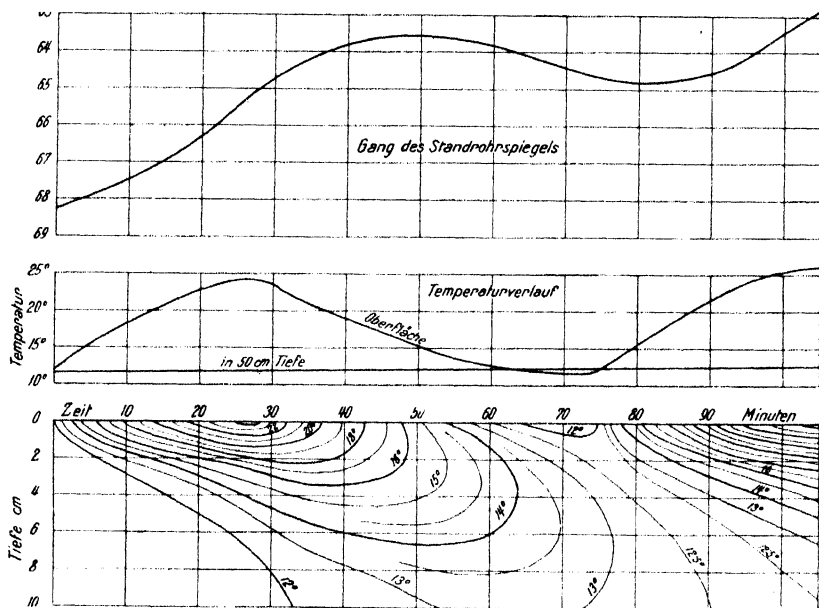


Abb. 3

Bodensäule beschränkte und die dennoch in den Bewegungen des Standrohrspiegels ihren deutlich sichtbaren Ausdruck fand.

Im Anschluß an die Ausführungen über die durch Wärmewirkung verursachten Spannungsänderungen der abgeschnürten Bodenluft sei noch kurz die Frage der Wirkung der Luftdruckänderungen in der freien Atmosphäre berührt, die sich in diesem Zusammenhange leicht überblicken läßt.

Eine Zunahme des äußeren Luftdrucks, welcher die entsprechende Druckerhöhung in der abgeschlossenen Bodenluft aus den früher erwähnten Gründen nur unvollständig zu folgen vermag, kann gedanklich wirkungsgleich ersetzt werden durch eine Abnahme des Innendrucks bei gleichgebliebenem Außendruck und ist damit gleichbedeutend mit einer Temperatur- und Spannungserniedrigung innerhalb der Luftbläschen. Ein Unterschied liegt nur darin, daß in diesem Falle, wegen der gleichbleibenden Temperatur, die Veränderlichkeit

der Oberflächenspannung des Wassers in Wegfall kommt. Die sinn-gemäße Umkehrung muß dann auch für einen Druckabfall in der Außenluft und damit im Bodenwasser Geltung haben.

Die daraus sich ergebenden Wirkungen können sich bei starken Luftdruckschwankungen wohl bemerkbar machen; die Frage, ob sie auch bei der hier behandelten Erscheinung der täglichen Druckschwankungen, etwa als Folge des täglichen Ganges des Luftdrucks, eine nennenswerte Rolle spielen können, ist angesichts der Geringfügigkeit des dabei in Frage kommenden Schwankungsmaßes, das sich etwa zwischen 1 und 2 cm Wassersäule bewegt, im Vergleich zu den oben behandelten Wirkungen zu verneinen.

## 2. Mittelbare Wärmewirkungen.

Die mit Sonnenaufgang einsetzende Wärmestrahlung zum Erdboden hat eine allmählich steigende Abgabe von Wasser auf dem Wege der Verdunstung und der Transpiration der Pflanzen zur Folge. Dieser Wasserentzug bewirkt, wie einleitend ausgeführt wurde, eine Herabsetzung des Drucks im Bodenwasser und damit ein Sinken des Wasserspiegels in den Beobachtungsrohren.

Entsprechend der Veränderlichkeit der Wärmezufuhr innerhalb eines Tages ist auch der Wasserentzug nicht von gleichbleibender Größe, sondern er wächst von Null am frühen Morgen bis zu einem auf die Mittagsstunden entfallenden Größtbetrag, um gegen die Nacht hin allmählich abzunehmen und schließlich ganz aufzuhören. Die Sinkgeschwindigkeit des Standrohrspiegels wird sich dieser veränderlichen Wasserabgabe des Bodens durch eine Zu- oder Abnahme in der Weise anpassen müssen, daß starke Wasserverluste in der Zeiteinheit einen rascheren, schwächere einen langsameren Niedergang des Wasserspiegels zur Folge haben. Auf diese Weise kann es zu einem wellenförmigen, im ganzen jedoch stetig *abfallenden* Verlauf der Ganglinie des Wasserstandes in den Beobachtungsrohren kommen; niemals aber kann sich aus diesen Verschiedenheiten des Wasserentzuges ein neuerlicher Anstieg ergeben, denn ein solcher würde eine Erhöhung des Drucks im Bodenwasser voraussetzen, die entweder auf Grund der früher behandelten unmittelbaren Wärmewirkungen oder aber durch eine Wasserzufuhr, also den Ersatz verlorengegangenen Wassers, bewirkt werden müßte.

Ein derartiger Wasserersatz kann sich nun als ein andauernder oder als ein nichtständiger Vorgang vollziehen. Im ersten Falle, dem eines ständig nachliefernden Grundwasserstromes, kommt dann, wenn die Wasserentnahme aus dem Boden größer ist als die Zufuhr, eine Herabsetzung, im entgegengesetzten Falle, wenn die zuströmende Menge die Wasserabgabe übertrifft, ein Anstieg des Drucks im Bodenwasser zustande. Der zweite Fall ist durch die nur eine beschränkte Zeit anhaltende Wasserzufuhr zum Boden in der Form von Niederschlägen gekennzeichnet.

Für den Ablauf der Erscheinung der täglichen Druckschwankungen kann sowohl die erste als auch die zweite Art des Wasserersatzes von Bedeutung sein; die letztgenannte aber nur insoweit, als

sie einen täglich sich wiederholenden Vorgang darstellt, wie dies für die Taubildung als mittelbare Wärmewirkung zutrifft.

Bei flüchtiger Betrachtung mag es zunächst recht unwahrscheinlich dünken, daß derart geringe Wassermengen, wie sie bei der Taubildung in Frage kommen, Bruchteile von 1 mm, einen nennenswerten Einfluß auf den Spannungszustand des Bodenwassers ausüben könnten; durchgeführte Untersuchungen haben jedoch ergeben, daß dies sehr wohl möglich ist.

Zu diesen Versuchen ist abermals der früher erwähnte, in der 80 cm langen Glasröhre befindliche Lehm Boden herangezogen worden.

Nach der Einstellung der einer Grundwasserspiegellage von 75 cm unter Bodenoberfläche entsprechenden statischen Feuchtigkeitsverteilung wurde der Oberfläche der Bodensäule tropfenweise Wasser in genau bestimmter Menge zugeführt und dabei die Bewegung des Standrohrspiegels in der Kapillare verfolgt. Dabei zeigte sich in drei Versuchen, bei denen dem Boden Niederschlagshöhen von 0,25 mm, 0,50 mm und 1,00 mm zugeführt worden waren, ein sogleich einsetzender, allmählich rascher und in der Folge wieder langsamer werdender Anstieg des Standrohrspiegels bis zu einer Höchstlage, die etwa nach Ablauf von 50 Minuten erreicht wurde, worauf eine langsame, mehrere Stunden anhaltende Senkungsbewegung bis nahezu zum ursprünglichen Anfangsstand hinab folgte. Die höchsten Erhebungen des Wasserspiegels erreichten in den drei Fällen, in der gleichen Reihenfolge, 4,95 cm, 7,00 cm und 10,85 cm. Das Verhältnis des Höchstanstieges zu der die Hebung verursachenden Niederschlagshöhe betrug demnach 198, 140 und 109.

Aus diesen Versuchen geht hervor, daß Niederschläge von der Größenordnung der Taumengen tatsächlich in der Lage sind, merkliche Druckänderungen im Bodenwasser zu bewirken.

Es würde schwer fallen, dieses Verhalten zu erklären, wenn man von einer Mitwirkung der im Boden enthaltenen Luft als druckübertragendes Mittel absehen wollte. Dies ist auch gar nicht nötig, denn, wie früher ausgeführt worden ist, muß nach den einwandfreien Versuchsergebnissen von *Schmidt* und *Lehmann*, mit einer Abschnürung von Teilen der Bodenluft selbst bei dem langsam vor sich gehenden kapillaren Aufstieg, wo ein Entweichen von Luft doch verhältnismäßig leicht möglich sein wird, in nicht unbeträchtlichem Ausmaß gerechnet werden. Dieser Vorgang muß natürlich im vorliegenden Falle, wo die Anfeuchtung des Bodens von oben her das Entweichen von Luft erschwert, um so größere Bedeutung gewinnen.

Nun wäre es ja durchaus möglich, daß der Boden in der Glasröhre sich in diesen Belangen etwas anders verhielte als in der Natur, wo das Vorhandensein von Rissen und größeren Porenzügen in Rechnung zu stellen ist. Um dieser Frage näherzutreten, sind weitere Versuche angestellt worden.

Auf die durchlässige Filterplatte eines 66 mm weiten Filtertiegels von *Schott*, (Jena,<sup>1)</sup> der durch einen wassergefüllten Schlauch entweder

<sup>1)</sup> Eine genaue Beschreibung des Filtertiegels ist in der Abhandlung Nr. 56: Das Gefüge des Bodens und dessen Kennzeichnung (vgl. S. 423) zu finden.

mit einem Vorratsgefäß (Bürette) oder mit einer als Standrohr dienenden Kapillare in Verbindung gebracht werden konnte, wurde eine Probe des gleichen Leimbodens in Form eines Zylinders von 48 mm Durchmesser und 40 mm Höhe aufgesetzt. Der zwischen der Probe und den seitlichen Tiegelwänden verbleibende ringförmige Raum wurde mit Sand von 1 mm Korngröße ausgefüllt. Der Tiegel konnte in verschiedenen Höhen über dem freien Wasserspiegel der Bürette befestigt werden, so daß sich in der Bodenprobe der der jeweilig wirkenden Saughöhe entsprechende statische Gleichgewichts-Wassergehalt einzustellen vermochte. Innerhalb des Bereiches der zur Anwendung gekommenen Saugspannungen wies der verwendete Sand, dank der großen Abmessungen seiner Porenzüge, keine mit Wasser voll erfüllten Hohlräume auf, so daß einem seitlichen Entweichen von Luft aus der Bodenprobe nichts im Wege stand.

Nach Lösung der Verbindung mit der Bürette und Herstellung der Verbindung mit dem Standrohr wurde der Stand des Meniskus in der Kapillare an einer fest angebrachten Millimeterteilung abgelesen.

Nun wurde der Oberfläche der Bodenprobe eine bestimmte Wassermenge tropfenweise zugeführt und der Anstieg des Standrohrspiegels beobachtet. Dabei zeigte sich in allen Fällen ein sehr rascher, nur wenige Minuten dauernder Anstieg, dem ein sehr langsames, mehrere Stunden anhaltendes Sinken folgte. Die Höchstlage wurde jeweils festgehalten.

Vor jedem neuen Versuch ist durch Herstellung der Verbindung des Tiegels mit der Bürette der anfängliche Gleichgewichts-Wassergehalt des Bodens wieder eingestellt worden.

Der lichte Querschnitt der als Standrohr dienenden Kapillare betrug  $1,28 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^2$ ; er stand demnach zur Oberfläche der Bodenprobe im Verhältnis 1 : 14000. Wegen der Geringfügigkeit des die Druckanzeige bewirkenden Wasservolumens war anzunehmen, daß die Druck-

änderungen mit großer Annäherung an die natürlichen Verhältnisse erfaßt werden konnten.

Die durchgeführten Versuche haben nun ergeben, daß auch in dem Falle einer Erleichterung des Entweichens von Bodenluft geringfügige Wasserzufuhr imstande ist, vorübergehend sehr bedeutende Spannungsänderungen im Bodenwasser hervorgerufen. In der Abb. 4 sind die aus den Beobachtungen ermittelten Verhältniszahlen zwischen Standrohrspiegelhebung und Niederschlagshöhe für verschiedene Stellungen des Tiegels, also verschiedene Anfangs-Saugspan-

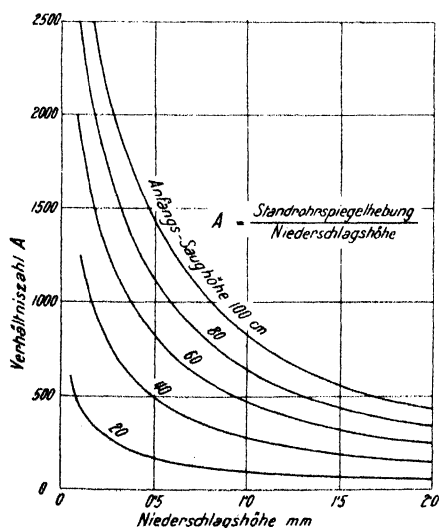


Abb. 4

nungen des Bodenwassers, in Kurven dargestellt worden, die sich den Messungsergebnissen gut anschmiegen. Danach war diese mit A bezeichnete Verhältniszahl um so größer, je kleiner die Niederschlagshöhe und je größer die Anfangs-Saugspannung des Wassers war. Daß diese Werte sehr viel größer sind als die früher mit dem Boden in der Glasröhre erzielten, erklärt sich aus der verschiedenen Höhe der Bodensäulen.

Nach diesen Ergebnissen muß der Ansicht *Thal Larsens*, daß auch die geringen Taumengen vorübergehend zu einem merklichen Anstieg des Wasserspiegels in Beobachtungsrohren zu führen vermögen, beigepflichtet werden. Es bleibt nur der aus seinen Beobachtungen<sup>1)</sup> zwischen dem 5. und 18. Juni im Gehölz in Wageningen hervorgehende, etwas sonderbar anmutende Tatbestand zu erklären, wonach die geringen vom Tau herrührenden Wassermengen innerhalb 8 bis 10 Stunden eine Hebung des Wasserspiegels um mehr als einen Dezimeter bewirkten, während der zweifellos viel größere, vielleicht das 10- bis 20fache der Taumenge erreichende Wasserentzug durch Transpiration und Verdunstung während eines sehr heißen, regenlosen Zeitraumes von 10 Tagen nur eine Gesamtsenkung um 25 cm, also je Tag von durchschnittlich 2,5 cm verursacht hat.

Die Erklärung hierfür kann abermals nur in dem Vorgang der Luftabschnürung gefunden werden. Werden nämlich die im Bereich des offenen Kapillarwassers vorhandenen durchgehenden Luftadern durch Wassertropfen an ihrem oberen Ende von der Außenluft abgeschlossen, dann wirkt dies, vom Standpunkt der Statik des Bodenwassers aus gesehen, genau so, als ob diese Luftadern voll mit Wasser angefüllt worden wären. Eine kleine auf die Oberfläche des Bodens aufgebrauchte Wassermenge kann also *vorübergehend* annähernd die gleiche druckändernde Wirkung hervorbringen wie eine sehr viel größere Wasserzufuhr. Dies zeigt ja unsere Abb. 4.

Demgegenüber ist bei der Spannungsänderung infolge eines Wasserentzuges, nach dem Aufbrauch der Taumengen, nur die wirkliche Größe der Wasserentnahme für das Maß der Druckerniedrigung bestimmend, weshalb dieses verhältnismäßig viel kleiner sein kann als der durch die gleiche Menge verursachte vorübergehende Druckanstieg.

Als Ursachen der täglichen Druckschwankungen im Bodenwasser, wie sie sich als Begleiterscheinungen des Wärmehaushaltes des Bodens notwendig ergeben, kommen also die folgenden in Frage: die Änderung der Oberflächenspannung des Wassers, die Druckänderungen in der abgeschnürten Bodenluft, allenfalls auch in der Außenluft, und schließlich die Verdunstung in Verbindung mit der Wasserzufuhr durch Taufall. Alle drei kommen gleichzeitig zur Wirkung und sind infolgedessen schwer zu trennen. Welche von ihnen jeweils in den Vordergrund tritt, wird von den klimatischen Verhältnissen und von den Eigenschaften des Bodens, insbesondere von seinem Wassergehalt abhängen; doch dürfte beim Zutreffen der klimatischen Voraussetzungen nach den Ergebnissen unserer Untersuchungen der zuletzt behandelten Ursache der stärkste Einfluß auf den Vorgang beizumessen sein.

<sup>1)</sup> J. H. Thal Larsen, Bodenkundl. Forschungen 4 (1935), S. 225.

Aus dem beobachteten zeitlichen Verlauf der Standrohrspiegelstände kann fallweise, jedoch unter Berücksichtigung des früher über die Verzögerung der Druckanzeige Gesagten, auf die Hauptursache geschlossen werden. Wenn z. B. der Druckanstieg zur Zeit der Abkühlung des Bodens einsetzt, dann darf mit ziemlicher Sicherheit auf das Überwiegen der Tauwirkung geschlossen werden, während in einem Falle wie in dem der Abb. 1, wo die Tiefstlagen des Standrohrspiegels den tiefsten Temperaturen der Bodenoberfläche nachhinken, der Einfluß der Spannungsänderungen der abgeschnürten Bodenluft den Ausschlag geben kann. Die Erscheinung, daß die Höchstlage des Standrohrspiegels gegenüber dem auf die Mittagsstunden entfallenden Höchstwert der Oberflächentemperatur nicht im gleichen Maße verzögert ist, oder daß sie selbst diesem vorangeht, kann mit der Wirkung der Verdunstung erklärt werden, die durch den Wasserentzug den Druck im Bodenwasser herabsetzt und auf diese Weise der durch unmittelbaren Temperatureinfluß bewirkten Druckerhöhung entgegenwirkt.

Abschließend sei noch kurz die Frage nach der Bedeutung der behandelten Erscheinung für das Pflanzenwachstum aufgeworfen.

Die Wurzel reicht in das Kapillarwasser des Bodens und muß bei der Aufnahme der Bodenlösung Saugkräfte entwickeln, die den Kräften der kapillaren Bindung des Wassers die Waage halten, darüber hinaus aber auch noch die Fließwiderstände des Wassers überwinden müssen. Jede Verschiebung im Spannungszustand des Bodenwassers muß daher auf die Pflanzenwurzel einwirken. Wenngleich es sich hier im allgemeinen nicht um sehr bedeutende Änderungen handelt, wäre es doch immerhin möglich, daß diese Druckänderungen, als Reizwirkung auf die Zellen der Wurzelepidermis, einen äußeren Anstoß zur Wurzelentwicklung geben könnten.

Im Dunkeln durchgeführte Keimversuche *A. v. Liebenbergs*,<sup>1)</sup> bei denen Grassamen auf Boden zur Verwendung kamen, haben ergeben, daß die Samen bei gleichbleibenden Temperaturen von 20° und 28° ganz unbefriedigend oder überhaupt nicht keimten, daß hingegen durch herbeigeführte tägliche Temperaturschwankungen, die sich in den angegebenen Grenzen hielten, und von denen wir nun wissen, daß sie Druckschwankungen auszulösen imstande sind, eine ganz wesentliche Erhöhung des Keimprozents sowie eine bedeutende Beschleunigung und Vergleichmäßigung des Keimvorganges erzielt werden konnte.

Auch aus den von *Hellriegel*<sup>2)</sup> erwähnten Versuchen über die Entwicklung von Gerstenpflanzen bei verschiedenen Temperaturen ergibt sich ganz eindeutig die Tatsache, daß das Trockengewicht der geernteten Wurzelmasse der Versuchspflanzen im Falle täglich schwankender Temperatur wesentlich größer war als bei annähernd gleichbleibenden Entwicklungstemperaturen von 10°, 20°, 30° und 40°.

Diese Ergebnisse würden in die angegebene Richtung weisen; die Versuche sind aber noch nicht zahlreich genug und nicht frei von Nebeneinflüssen, um diese bisher unbeachtete Wirkung rein in Erscheinung treten zu lassen.

<sup>1)</sup> Bot. Zentralblatt 18 (1884), S. 21.

<sup>2)</sup> *Hellriegel*, Beitr. z. d. naturwiss. Grundlagen d. Ackerbaus, 1883, S. 305.

## 6. Die Bohrlöchermethode zur Ermittlung der Durchlässigkeit des Bodens und ihr Nutzen für die Praxis

Von S. B. Hooghoudt

(Bodenkundliches Institut Groningen, Holland.

Direktor: Dr. D. J. Hissink.)

### *I. Kurze Besprechung der Bohrlöchermethode.*

In den «Transactions of the Third International Congress of Soil Science, Oxford, 1935», Volume I, S. 382, findet sich eine kurze Abhandlung über die Bohrlöchermethode zur Ermittlung der Durchlässigkeit des Bodens. Die Untersuchungen waren damals noch nicht beendet. Wir haben sie nachher sowohl mit homogenen als auch mit schichtartig aufgebauten Böden fortgesetzt. Diese Untersuchungen sind jetzt endgültig abgeschlossen. Die Theorie der Wasserströmung im Boden, sowie die Resultate der obengenannten Untersuchungen und die Anwendung in der Praxis haben wir in einer ausführlich abgefaßten Publikation besprochen (1). Ich muß mich hier damit begnügen, die Formeln anzugeben, die für die Anwendung der Methode wichtig sein können. Zu beachten ist, daß die seit dem Kongreß in Oxford fortgesetzten Untersuchungen eine kleine Abänderung der Formeln — namentlich für heterogene Böden — notwendig gemacht haben. Bevor ich die Formeln bespreche, will ich noch schnell erläutern, worauf sich diese Methode zur Ermittlung der Durchlässigkeit des Bodens gründet.

In allen Böden, die verhältnismäßig dicht unterhalb der Erdoberfläche eine zusammenhängende phreatische Oberfläche aufweisen, — so wie man es überall in den tieferliegenden Teilen der Niederlande antrifft — wird ein Bohrloch, das einen Halbmesser von 0,06 bis 0,10 m und eine Tiefe von 1 bis 2 m hat, sich nach einiger Zeit bis zu einer gewissen Höhe mit Wasser füllen. Der Wasserstand im Bohrloch gibt die Lage der phreatischen Oberfläche im Boden um das Bohrloch herum an. Wenn man jetzt das Bohrloch bis zu einer willkürlich zu wählenden Tiefe (meistens ungefähr bis 5 bis 10 cm oberhalb des Bohrlochbodens) leer schöpft, dann wird natürlich wieder Wasser aus dem Boden um das Bohrloch herum ins Bohrloch fließen: die phreatische Oberfläche im Boden um das Bohrloch herum ist jetzt ja höher als die Wasserfläche im Bohrloch, und so entsteht ein Druckgefälle im Grundwasser nach dem Bohrloch. Man wird verstehen, daß die Steiggeschwindigkeit des Wassers, nachdem man Wasser aus dem Bohrloch geschöpft hat, um so größer ist, je größer die Durchlässigkeit des Bodens ist. Weiter wird die Steiggeschwindigkeit

keit von verschiedenen Faktoren abhängen, z. B. vom Abstand zwischen dem ursprünglichen Wasserstand und der Tiefe, bis zu der das Bohrloch ausgeschöpft worden ist usw.

Die Theorie der Wasserströmung nach dem Bohrloch im Boden und die zahlreichen Kontrolluntersuchungen im Laboratorium, die wir mit der größten Genauigkeit angestellt haben und bei denen alle Verhältnisse genau bekannt waren, haben es möglich gemacht, die Formeln aufzustellen, aus denen sich mit Hilfe der in der besprochenen Weise ermittelten Steiggeschwindigkeit die Durchlässigkeits-Koeffizienten in m je 24 Stunden mit ausreichender Genauigkeit berechnen lassen.

Für homogene Böden (oder für homogen gedachte Böden<sup>1)</sup>, und für den Fall, daß die Bodenschicht unterhalb des Bohrlochbodens durchlässig ist, lautet die Gleichung:

$$k = \frac{523000r^2 \cdot \log \frac{y_0}{y}}{t} \cdot \frac{H}{H + 0,5r} = 523000r^2 \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot \frac{H}{H + 0,5r} \quad (1)$$

Hierin bedeutet k den Durchlässigkeits-Koeffizienten in m je 24 Stunden, r den Halbmesser des Bohrloches in m, H den Abstand der phreatischen Oberfläche vom Bohrlochboden in m,  $y_0$  und y den Abstand der Wasserfläche im Bohrloch zur Zeit  $t = 0$  und  $t = t$  von der phreatischen Oberfläche in m und  $\log \frac{y_0}{y} : t = \operatorname{tg} \alpha$ . Wenn der Boden unterhalb des Bohrlochbodens undurchlässig ist, so fällt der Faktor  $\frac{H}{H + 0,5r}$  aus.

Wenn im Profil oberhalb des Bohrlochbodens zwei scharf abgegrenzte Schichten von verschiedener Durchlässigkeit vorkommen, und wenn die erste Schicht oberhalb des Bohrlochbodens eine Dicke  $h_1$  und einen k-Koeffizienten  $k_1$ , die darüberliegende Schicht einen k-Koeffizienten  $k_2$  und die unterhalb des Bohrlochbodens liegende Schicht einen k-Koeffizienten  $k_3$  hat und wenn der Abstand der phreatischen Oberfläche von der Oberfläche der erstgenannten Schicht  $h_2$  ist, dann lautet die Gleichung:

$$h_1 k_1 + h_2 k_2 + 0,5 k_3 r = 523000r^2 \cdot H \cdot \operatorname{tg} \alpha \quad (2)$$

und für drei Schichten oberhalb des Bohrlochbodens:

$$h_1 k_1 + h_2 k_2 + h_3 k_3 + 0,5 k_4 r = 523000r^2 \cdot H \cdot \operatorname{tg} \alpha \quad (3)$$

und so weiter. Für praktische Zwecke nimmt man  $k_3 = k_1$  (Gleichung 2) oder  $k_4 = k_1$  (Gleichung 3). In bezug auf die Gleichungen für heterogene Böden gilt dasselbe, was bei der Gleichung für homogene Böden bemerkt wurde. Wenn in Wirklichkeit keine scharf abgegrenzten Schichten vorkommen, dann ermittelt man den schein-

<sup>1)</sup> Wenn der Boden in Wirklichkeit heterogen ist, so bestimmt man eine Art Mittelwert, den ich «scheinbare Durchlässigkeit» nenne (siehe Nr. 1 und Nr. 4 des Literaturverzeichnisses).



baren  $k$ -Koeffizienten der beiden angenommenen Schichten (siehe die Fußnote auf S. 43).

Zu beachten ist erstens, daß man, wenn man den  $k$ -Koeffizienten in cm pro Sekunde ausdrücken will, *den  $k$ -Koeffizienten, den man mit den obengenannten Formeln berechnet hat, durch 864 dividieren muß, und daß man also die Einzelfaktoren nicht in cm und Sekunden ausdrücken darf.* (Der Zifferfaktor 523 000 hat nämlich noch die totale Dimension  $(l^{-1})$ ; siehe Nr. 1 des Literaturverzeichnisses.)

Zweitens ist zu beachten, daß die Temperatur des Grundwassers von Einfluß auf die Durchlässigkeit des Bodens ist (2). Wenn man den  $k$ -Koeffizienten auf eine gewisse Temperatur (z. B.  $10^{\circ}$  C) umrechnen will, dann müssen alle rechten Seiten der obengenannten

Gleichungen mit  $\frac{\gamma_t}{\gamma_{10}}$  multipliziert werden ( $\gamma_t$  ist hier die Zähigkeit des Wassers bei  $t^{\circ}$  C und  $\gamma_{10}$  die Zähigkeit des Wassers bei  $10^{\circ}$  C). Im allgemeinen wird das aber nicht notwendig sein.

Über die Technik der Messungen und namentlich der Ermittlung der Steiggeschwindigkeit des Wassers, nachdem man das Bohrloch ausgeschöpft hat, werde ich hier nicht weiter sprechen (siehe Nr. 1 des Literaturverzeichnisses). Dagegen werde ich noch einiges über die Anwendung der Gleichung mitteilen.

Es wird klar sein, daß man bei der Anwendung der Gleichung für homogene Böden, gleichviel ob der Boden unterhalb des Bohrlochbodens durchlässig ist oder nicht, eigentlich die Durchlässigkeit der Schicht zwischen der Wasserfläche im Bohrloch und dem Bohr-

lochboden bestimmt, da der Faktor  $\frac{H}{H + 0,5 r}$  wenig von eins abweicht,

also  $r$  in bezug auf  $H$  klein ist. Ähnliches treffen wir bei der Anwendung der Gleichungen für heterogene Böden an, da der Einfluß des Faktors  $0,5 k_3 r$  bzw.  $0,5 k_4 r$  meistens klein ist. Man wird verstehen, daß, wenn man ein Bohrloch bis zu einer gewissen Tiefe (z. B. 1,0 m) gemacht hat, man bei diesen Messungen nur die Gleichung für homogene Böden anwenden kann, d. h. daß man nur die Durchlässigkeit der ganzen Bodenschicht von der phreatischen Oberfläche im Bohrloch bis zum Boden des Bohrloches ermitteln kann. Man nimmt dann an, daß die Bodenschicht unterhalb des Bohrloches ebenso durchlässig ist wie die Schicht oberhalb des Bohrlochbodens. Wenn man wissen will, wie groß die Durchlässigkeit des Bodens unterhalb des Bohrlochbodens ist, dann muß man dasselbe Bohrloch weiter ausbohren (z. B. bis 1,5 m). Man wartet erst, bis die Wasserfläche wieder im Gleichgewicht ist, und fängt von neuem an, die Steiggeschwindigkeit auf die bekannte Weise zu ermitteln. Man kann die Gleichung jetzt für zwei Schichten anwenden, da  $h_1$ ,  $h_2$  und  $k_2$  in dieser Gleichung bekannt sind ( $k_3$  wird gleich  $k_1$  genommen). Auf ähnliche Weise — man muß das Bohrloch erst wieder tiefer ausbohren, dann warten, bis die Wasserfläche im Gleichgewicht steht usw. — kann man die Gleichung für drei Schichten anwenden, da  $h_1$ ,  $h_2$ ,  $h_3$ ,  $k_2$  und  $k_3$  jetzt in dieser Gleichung bekannt sind und man wieder  $k_4 = k_1$  nehmen kann. Wenn z. B. der ursprüngliche Stand des Grundwassers 50 cm

unterhalb der Erdoberfläche ist, so kann man z. B. den  $k$ -Koeffizienten der Schicht von 50—100 cm, 100—150 cm, 150—200 cm usw. unterhalb der Erdoberfläche ermitteln. Das Bohrloch ist dann während der ersten Messung 100 cm, während der zweiten Messung 150 cm und während der dritten Messung 200 cm tief usw. Wir können also die Durchlässigkeit des Bodens an sich und die Änderung, die in der Durchlässigkeit bei zunehmender Tiefe unterhalb der Erdoberfläche eintritt, ermitteln. Hieraus kann man natürlich schließen, bis zu welcher Tiefe der Boden noch eine nicht zu vernachlässigende Durchlässigkeit aufweist.

Die obengenannten Daten bestimmen gerade das Einzelentwässerungsbedürfnis und lassen das Ergebnis gewisser Einzelentwässerungsanlagen im voraus berechnen. Mit dieser Frage wollen wir uns im nächsten Abschnitt eingehender befassen.

Zum Schluß muß ich noch darauf aufmerksam machen, daß es in den Niederlanden durchaus nicht zutrifft, daß die Durchlässigkeit um so geringer wird, je schwerer der Boden ist, so wie es in anderen Ländern wohl der Fall zu sein scheint (3). Hier kommen im Gegenteil sehr schwere Tonböden mit mehr als 60% Ton vor, die durchlässiger sind als manche Sandböden. Ohne Zweifel hängt das damit zusammen, daß diese Böden verhältnismäßig noch sehr jung sind.

## *II. Die Bedeutung der durch die Bohrlöchermethode ermittelten Daten für die Praxis.*

Im vorhergehenden Abschnitt haben wir gesehen, daß die Bohrlöchermethode es uns möglich macht, die Durchlässigkeit mehrerer Bodenschichten bis zu jeder gewünschten Tiefe zu ermitteln. Wir können hieraus schließen, wie die Durchlässigkeit im Profil und die größere oder geringere Tiefe unterhalb der Erdoberfläche zusammenhängen. Hieraus ergibt sich, bis zu welcher Tiefe der Boden noch eine nicht zu vernachlässigende Durchlässigkeit aufweist. Wir wissen schon, daß diese Daten von großer Bedeutung sind, weil sie es ermöglichen, das Ergebnis gewisser Dränanlagen im voraus zu berechnen.

Um das Vorhergehende verstehen zu können, werden wir jetzt die zwei wichtigsten Bodentypen besprechen, nämlich Böden mit einem sehr großen und solche mit einem sehr kleinen Einzelentwässerungsbedürfnis. Die Theorie der Wasserströmung im Boden nach den Dränsträngen, Gräben usw. zeigt uns, durch was ein großes oder ein kleines Einzelentwässerungsbedürfnis entsteht und welche Faktoren hierbei eine Rolle spielen. Ich kann hier leider nicht auf Einzelheiten eingehen, möchte aber auf eine ausführliche Abhandlung (4) hinweisen, die im Laufe dieses Jahres publiziert werden wird. Hier muß ich mich damit begnügen, die Faktoren zu besprechen, die das Einzelentwässerungsbedürfnis beherrschen. Danach werden wir die Hauptkennzeichen der obengenannten zwei Bodentypen eingehender behandeln und sehen, welches Resultat man erzielt, wenn diese Böden auf eine gewisse Weise gedränt werden. Letzteres werden wir dann mit den auf zwei Entwässerungs-Versuchsfeldern experimentell gefundenen Daten weiter erläutern.

Ohne daß ich die Theorie der Wasserströmung bespreche, wird es klar sein, daß das Einzelentwässerungsbedürfnis um so kleiner sein wird, je größer die Durchlässigkeit des Bodens ist. Weiter wird die Dicke der Schicht — namentlich unterhalb der Dränstränge und bis wo die Durchlässigkeit nicht allzu gering geworden ist — von großer Bedeutung sein. Das Regenwasser, das auf das Land zwischen zwei Dränsträngen fällt, wird ja — insofern es nicht verdampft oder von den Pflanzen verbraucht oder aber vom Boden festgehalten wird — erst senkrecht hinab bis zu der phreatischen Oberfläche sinken und danach in der Bodenschicht unterhalb dieser Oberfläche in mehr oder weniger waagerechter Richtung nach den Dränsträngen fließen. Je dicker unter sonst gleichen Umständen diese Schicht unter der phreatischen Oberfläche ist, um so kleiner ist der Widerstand, auf den das Wasser, wenn es nach den Dränsträngen fließt, stößt, und um so größer kann die Entfernung der Dränstränge bei demselben Grundwasserstand in der Mitte zwischen den Dränsträngen sein. Weiter ist es wichtig, auf welche Weise sich die Durchlässigkeit im Profil bei zunehmender Tiefe unter der Erdoberfläche ändert. Wenn z. B. in zwei Böden die Dräntiefe ebenso wie die mittlere Durchlässigkeit des Bodens oberhalb der Dränstränge gleich ist, und wenn im einen Fall die Durchlässigkeit mit der Tiefe abnimmt, während der Boden im anderen Fall homogen ist, dann wird der Grundwasserstand in der Mitte zwischen den Dränsträngen bei gleichem Abfluß von überflüssigem Regenwasser im ersten Fall natürlich höher sein wie im zweiten Fall.

Zum Schluß will ich noch bemerken, daß das Ergebnis einer gewissen Dränung in einem gewissen Boden — d. h. also die Höhe des Grundwasserstandes in der Mitte zwischen den Dränsträngen, vom Niveau der Dränstränge ab gerechnet — natürlich auch noch von der Tiefe der Dränung, von der Entfernung der Dränstränge und von der Tatsache abhängt, ob oberhalb der Dränstränge Wasser vorkommt oder nicht. Der Einfluß der Dräntiefe äußert sich bei gleicher Entfernung der Dränstränge darin, daß bei einer größeren Dräntiefe bei gleichem Grundwasserstand unterhalb der Erdoberfläche ein größeres Gefälle im Grundwasser möglich ist, wenn beidemal kein Wasser oberhalb der Dränstränge steht. Denn der Druckunterschied ist ebenso groß wie der Höhenunterschied der Grundwasserstände in der Mitte zwischen den Dränsträngen und oberhalb der Dränstränge<sup>1)</sup> und wird im gegebenen Fall größer, wenn die Dräntiefe zunimmt. Weiter folgt hieraus, daß die Wirkung der größeren Dräntiefe, wenn Wasser oberhalb der Dränstränge vorkommt, um so kleiner wird, je höher die Wasserfläche oberhalb der Dränstränge steht. Im selben Boden und bei gleicher Entfernung der Dränstränge gibt es dann keinen wesentlichen Unterschied zwischen dem Ergebnis der Dränung bei verschiedener Tiefe, wenn der Wasserstand oberhalb der tieferliegenden Dränstränge gerade bis zu

<sup>1)</sup> Wenn sich kein Wasser oberhalb der Dränstränge befindet, dann stimmt die Lage der phreatischen Oberfläche hier mit dem Niveau der Dränstränge überein.

dem waagerechten Niveau der höherliegenden Dränstränge reicht und hier kein Wasser oberhalb der Dränstränge vorkommt.

Aus dem Vorhergehenden folgt also, daß das Dränungsbedürfnis um so größer ist, je geringer die Durchlässigkeit ist, je schneller die Durchlässigkeit mit der Tiefe unter der Erdoberfläche abnimmt, und je kleiner die Dicke der durchlässigen Schicht ist. Der Boden, der diese Eigenschaften in hohem Maße aufweist, führt das Wasser auf eine bestimmte Weise ab, wenn man ihn dränt. Ein solcher Boden hat natürlich ein großes Dränungsbedürfnis (Typus I). Umgekehrt hat ein Boden ein geringes Dränungsbedürfnis, wenn er sehr durchlässig ist und namentlich bis tief unterhalb der Erdoberfläche durchlässig bleibt (Typus II).

#### *A. Bodentypus I. Kurze Besprechung einiger Ergebnisse des Entwässerungs-Versuchsfeldes B 45 in der Nähe von Kolhorn.*

Angenommen, ein Boden sei völlig undurchlässig, dann könnte das überflüssige Regenwasser nur oberhalb der Erdoberfläche nach den Drängräben fließen. Dies kommt praktisch nicht vor, weil doch auf jeden Fall die oberste Schicht durch die Bearbeitung oder durch das Eintrocknen des Bodens im Sommer eine gewisse Durchlässigkeit für Wasser bekommen hat. Der äußerste Fall ist also dann der, wo die Durchlässigkeit mit zunehmender Tiefe unter der Erdoberfläche sehr schnell abnimmt. Sehr dicht unter der Erdoberfläche ist die Durchlässigkeit also schon gering, unterhalb der Dränstränge ist sie jedenfalls gleich Null.

Selbstverständlich wird die größte Wassermenge durch den Boden hindurch nach den Dränsträngen fließen, wenn der Grundwasserstand in der Mitte zwischen den Dränsträngen gerade bis zu der Erdoberfläche gestiegen ist. Wenn die Durchlässigkeit dicht unter der Erdoberfläche schon gering ist, wie in unserem Fall, dann bleibt die Wassermenge, die auch bei kleiner Entfernung der Dränstränge durch den Boden hindurch abfließt, im Verhältnis zum Regenfall gering. Die Folge ist, daß wir bei fortwährendem Regen sehr hohe Grundwasserstände bis zu der Erdoberfläche erwarten können, während eine Menge Regenwasser oberhalb der Erdoberfläche nach den Drängräben abfließt (die Durchlässigkeit des Bodens in den Drängräben ist für derartige Böden von großer Bedeutung, da die Dränstränge hier größtenteils wie offene Gräben wirken).

Weiter werden an trockenen Tagen mit einer starken Verdunstung nach einem starken Regen zuerst die Pfützen an der Erdoberfläche eintrocknen, wonach der Grundwasserstand schnell sinken wird. In einem derartigen Boden wird die Anzahl der nicht kapillaren Räume mit frei beweglichem Wasser sehr gering sein, da sonst die Durchlässigkeit wohl größer wäre. Das heißt, daß die Wassermenge, die abgeführt werden muß, um den Grundwasserstand um 1 cm fallen zu lassen, sehr gering ist, so daß bei einer starken Verdunstung der Grundwasserstand schnell fallen wird. Die Folge ist also, daß die Grundwasserstände in der Mitte zwischen den Dränsträngen, wenn regnerische und trockene Zeiten miteinander abwechseln, wie es im

Laufe eines Jahres immer der Fall ist, starken Änderungen ausgesetzt sind. In einer graphischen Darstellung, in der die Zeit auf der Abszissenachse und der Grundwasserstand unter der Erdoberfläche in Zentimetern auf der Ordinatenachse angegeben ist, hat also die Linie, die die Änderungen des Grundwasserstandes im Laufe der Zeit angibt, einen sehr unregelmäßigen Verlauf. Ein derartiger Fall ist auf dem Entwässerungs-Versuchsfeld B 45 (schwerer Ton) im neuen Wieringermeerpolder im ersten Jahre nach der Trockenlegung des Polders (1930) vorgekommen. Die Durchlässigkeit des Bodens war damals gering, nahm mit der Tiefe unter der Erdoberfläche ab und war unterhalb der Dränstränge (Tiefe 95 cm) so gering, daß man sie ruhig außer Betracht lassen konnte. Eine Beschreibung dieses Versuchsfeldes ist in den Verhandlungen der 6. Kommission der Internationalen Bodenkundlichen Gesellschaft, Groningen, 1932, Teil A, S. 188, enthalten (5). Hier muß ich mich damit begnügen, darauf aufmerksam zu machen, daß auf diesem Versuchsfeld Teile mit Dränsträngen in einer Entfernung von 10 m, 15 m und 20 m vorhanden sind, weiter Teile mit 60 cm tiefen offenen Gräben in einer Entfernung von 10 m, 15 m und 20 m und endlich Teile ohne eine Einzelentwässerung (sog. «nicht entwässerte» Abteilungen). Auf den Teilen mit Dränsträngen und mit offenen Gräben hatte man in der Mitte zwischen den Dränsträngen und zwischen den offenen Gräben Grundwasserstandsröhren eingebracht, ebenso auf den nicht entwässerten Teilen. Die Wasserstände in diesen Röhren wurden täglich gemessen, ebenso wie der Abfluß der Dränstränge und der offenen Gräben. In der Abb. 1 sind die Grundwasserstände in der Mitte zwischen den Dränsträngen mit einer Entfernung von 10 m, 15 m und 20 m und der Grundwasserstand mitten auf dem nicht entwässerten Felde angegeben, wie sie im Laufe des Jahres 1931 gemessen worden sind.

Hieraus sehen wir, daß die Grundwasserstände in regnerischen Zeiten überall sehr hoch sind — ungefähr bis zu der Erdoberfläche — und daß sie in trockenen Zeiten um vieles fallen, so daß die Grundwasserstandslinien einen sehr unregelmäßigen Verlauf haben. Weiter zeigt sich, daß die Änderungen der Grundwasserstände bei den einzelnen Strangentfernungen ungefähr ebenso groß sind wie die Änderungen der Grundwasserstände auf den nicht entwässerten Teilen. Hieraus folgt, daß der Grundwasserstand hauptsächlich von dem Regenfall und der Verdunstung abhängt (Vegetation war damals noch keine vorhanden), und daß der Abfluß von Regenwasser *durch den Boden hindurch* nach den Dränsträngen nur einen geringen Einfluß ausübt. Letzteres ist verständlich, weil die größte Regenwassermenge, die durch den Boden hindurch abfließen kann, ohne daß ein Wasserabfluß auf der Erdoberfläche stattfindet, im Verhältnis zum Regenfall sehr gering ist. Auf diesem Versuchsfeld ist denn auch im Laufe des genannten Jahres in regnerischen Zeiten oft Wasser auf der Erdoberfläche abgeflossen. Umgekehrt war in trockenen Zeiten die Verdunstung viel größer als der Wasserabfluß durch den Boden hindurch nach den Dränsträngen, zumal da die niedrigen Grundwasserstände in der Mitte zwischen den Dränsträngen den letzteren noch verkleinern.

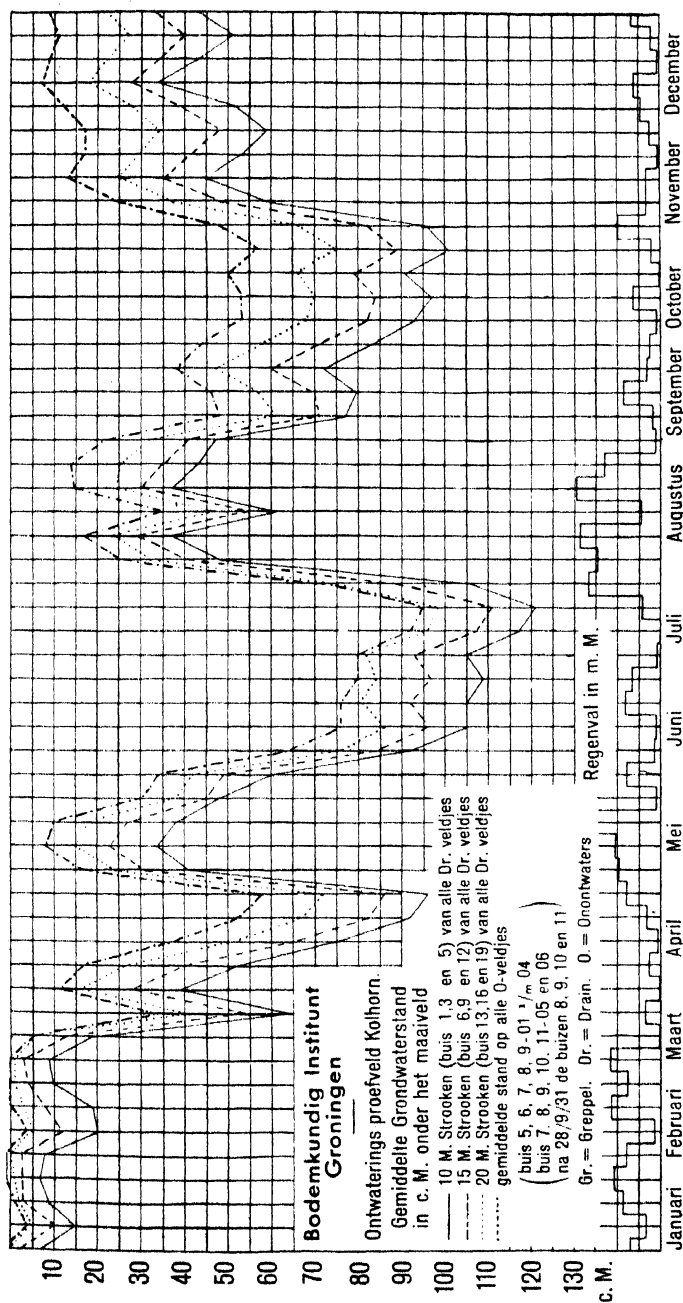


Abb. 1. — Grondwaterstand in der Mitte zwischen den Dränsträngen mit einer Strangentfernung von 10 m.  
 - - - - - Grondwaterstand in der Mitte zwischen den Dränsträngen mit einer Strangentfernung von 15 m.  
 . . . . . Grondwaterstand in der Mitte zwischen den Dränsträngen mit einer Strangentfernung von 20 m.  
 ..... Grondwaterstand auf dem nicht entwässerten Teil.

Daß übrigens noch ein Teil des Regenwassers durch den Boden hindurch abfließt, beweist die Tatsache, daß die Grundwasserstände in der Mitte zwischen den Dränsträngen bei einer Strangentfernung von 10 m am tiefsten sind, dann folgen die Grundwasserstände in der Mitte zwischen den Dränsträngen bei einer Strangentfernung von 15 m, dann bei einer Strangentfernung von 20 m, während die Grundwasserstände auf den nicht entwässerten Teilen am höchsten sind; alles stimmt also mit der Theorie der Wasserströmung durch den Boden hindurch nach den Dränsträngen, Gräben usw. überein.

In der Abb. 2 sind die Grundwasserstandslinien im Laufe des Jahres 1931 dargestellt, wie sie aus den gemessenen Grundwasserständen in der Mitte zwischen den Dränsträngen und zwischen den offenen Gräben in einer Entfernung von 10 m entstanden sind. Die Grundwasserstände sind fast gleich, obgleich die Grabentiefe 60 cm und die Dräntiefe 95 cm ist. Eine tiefere Lage hat hier also keine Wirkung gehabt, wie im voraus zu erwarten war. Die Durchlässigkeit der Schicht von 60—95 cm unter der Erdoberfläche ist ja so gering, daß der Grundwasserstand in der Mitte zwischen den tiefer liegenden Dränsträngen ungeachtet des größeren Gefälles (oberhalb der Dränstränge befand sich im Jahre 1931 sehr wahrscheinlich kein Wasser) ungefähr bis zu derselben Höhe steigen mußte, um die gleiche Wassermenge abführen zu können. In diesem Fall ist auch die Tatsache von Bedeutung, daß der Grundwasserstand namentlich vom Regenfall und von der Verdunstung abhängt, während der Abfluß des Wassers durch den Boden hindurch nur eine geringe Rolle spielt, die um so geringer ist, als der Unterschied im Wasserabfluß zufolge des Unterschiedes in der Tiefenlage nur sehr klein ist. Hiervon abgesehen aber ist eine tiefere Lage niemals von Einfluß, wenn die Durchlässigkeit mit der Tiefe unter der Erdoberfläche abnimmt und wenn die Durchlässigkeit des Bodens in der Schicht zwischen den seichter und den tiefer liegenden Dränsträngen gegenüber der Durchlässigkeit der Schicht oberhalb der seichter gelagerten Dränstränge gering ist, während der Boden unterhalb der am tiefsten liegenden Dränstränge als undurchlässig aufgefaßt werden kann.<sup>1)</sup>

Zum Schluß will ich noch bemerken, daß der geringe Vorteil einer tieferen Lage der Dränstränge bei solchen Bodentypen ganz

<sup>1)</sup> Wir würden das sehr leicht mit mathematischen Betrachtungen erläutern können. Ohne auf die Ableitung der dazu zu benutzenden Gleichungen einzugehen, werden wir uns hier mit einem Zahlenbeispiel begnügen und einmal den Grundwasserstand berechnen zwischen Dränsträngen mit einer Strangentfernung von 10 m, wenn die Dränstränge im einen Fall 1 m tief und im anderen Fall 1,5 m tief liegen, und wenn weiter kein Wasser oberhalb der Dränstränge vorkommt, die undurchlässige Schicht 1,5 m tief liegt und der Boden über dieser undurchlässigen Schicht nach der Funktion:  $k_y = y^2$  zunimmt, worin  $k_y$  den k-Koeffizienten in einer Höhe von y m oberhalb dieser Schicht vorstellt. In diesem Fall ist:

$$S = \frac{(H_0^4 - h_0^4)}{6e^2},$$

worin S der Abfluß der Dränstränge in m je 24 Stunden ist,  $H_0$  und  $h_0$  die Grundwasserstände in m in der Mitte zwischen den Dränsträngen und über den Dränsträngen, gerechnet vom Niveau der undurchlässigen Schicht ab, bedeuten und

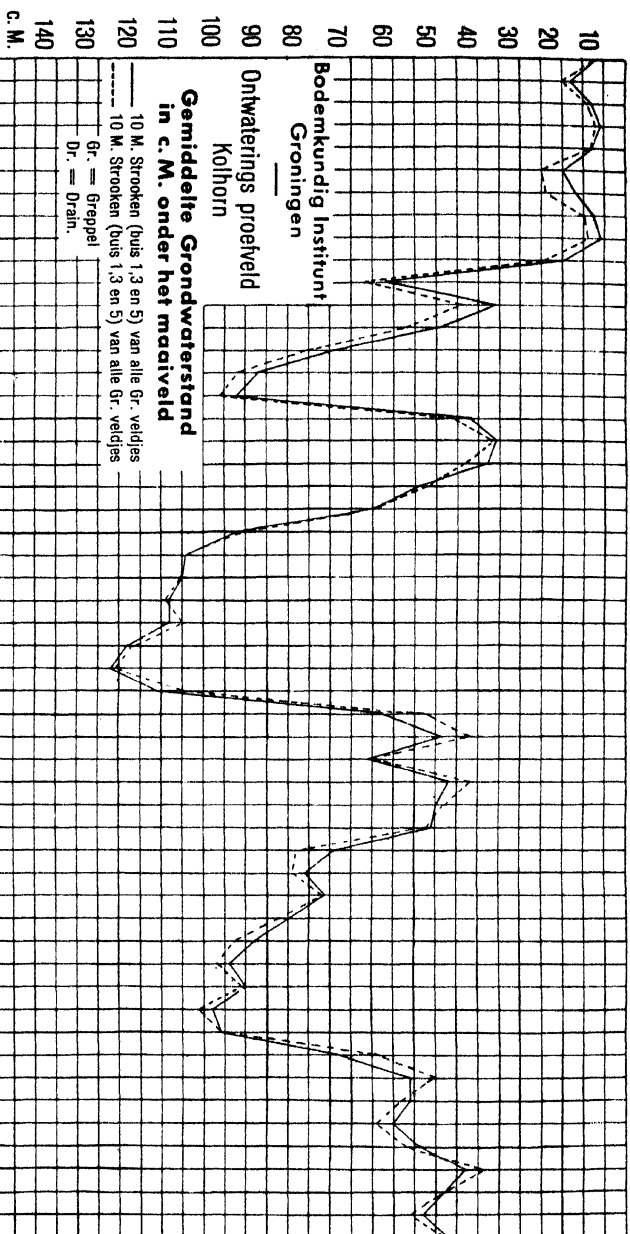


Abb. 2. **Bijlating:** Alle Grondwaterstanden sind in cm unter der Erdoberfläche (Nied.: Maaiveld) angegeben.  
 — Grondwaterstand in der Mitte zwischen offenen Gräben mit einer Grabenentfernung von 10 m.  
 ---- Grondwaterstand in der Mitte zwischen Dränsträngen mit einer Strangentfernung von 10 m.



verloren geht, wenn die Durchlässigkeit der Dränggräben so sehr abnimmt, daß sich oberhalb der Dränstränge Wasser zeigt. Ein völlig durchlässiger Dränggraben ist für diese Böden von der größten Bedeutung. Auch kann man voraussagen, daß in diesen Böden alle maschinell hergestellten Dränstränge schlechte Resultate erzielen, wenn dabei nicht gleichzeitig für einen völlig durchlässigen Dränggraben gesorgt wird.

Kurz gefaßt können wir sagen, daß Bodentypen mit einem großen Einzelenwässerungsbedürfnis in regnerischen Zeiten und mit einer kleinen Verdunstung hohe Grundwasserstände aufweisen, während diese Grundwasserstände sich beim Übergang von regnerischen in trockene Zeiten und umgekehrt sehr ändern. Die Grundwasserstände in diesen Böden hängen namentlich vom Regenfall und von der Verdunstung ab, während der Abfluß des überflüssigen Regenwassers durch den Boden hindurch nur einen geringen Einfluß ausübt. Eine große Dräntiefe ist hier nicht von Bedeutung<sup>2)</sup>, wohl aber ein sehr durchlässiger Dränggraben. Es ist einleuchtend, daß die Strangentfernung hier gering sein muß.

### *B. Typus II. Kurze Besprechung einiger Ergebnisse des Entwässerungs-Versuchsfeldes im Rietwijkeroorderpolder in der Nähe von Amsterdam.*

Der andere Bodentypus hat ein sehr geringes Dränungsbedürfnis. Diese Böden bleiben noch tief unter der Erdoberfläche sehr durchlässig. Dies scheint z. B. mit dem IJpolder in der Nähe von Amsterdam, der aus schwerem Tonboden besteht, der Fall zu sein. Man benutzt hier wenigstens nur Seitengräben, die sogar 150 m voneinander entfernt sind. Andere Einzelenwässerungssysteme gibt es nicht.

Bei diesem Bodentypus wird, auch wenn die Dränstränge in einer großen Entfernung voneinander liegen, ein kleiner Überdruck (Unterschied zwischen dem Grundwasserstand in der Mitte zwischen den Dränsträngen und über den Dränsträngen) genügen, um eine große Menge überflüssigen Regenwassers abzuführen. Wenn z. B. ein Überdruck von 10 cm genügt, um einen überflüssigen Regenfall von 5 mm je 24 Stunden abzuführen, so folgt hieraus, daß die Änderung des Grundwasserstandes, wenn der überflüssige Regenfall von

---

e die halbe Strangentfernung vorstellt. Wenn in beiden Fällen der Abfluß z. B. 5 mm = 0,005 m je 24 Stunden ist, so ist für eine Dränung bei einer Tiefe von 1,0 m  $h = 1,5 - 1,0 = 0,5$  m, so daß  $H_0 = 0,949$  m ist oder  $1,500 - 0,949 = 0,551$  m = 55,1 cm unter der Erdoberfläche. Für die Dränung mit einer Tiefe von 1,5 m ist  $h_0 = 0$ , so daß  $H_0 = 0,931$  m oder  $1,500 - 0,931 = 0,569$  m = 56,9 cm unter der Erdoberfläche.

Obgleich also im einen Fall die Dränstränge um 50 cm tiefer liegen, ist der Unterschied zwischen den Grundwasserständen nur 1,8 cm. Ähnliches treffen wir auch auf dem obengenannten Versuchsfeld B 45 im Jahre 1931 an, wenn die Durchlässigkeit des Bodens hier verhältnismäßig auch viel kleiner war als im Zahlenbeispiel.

<sup>2)</sup> Dies kann möglicherweise anders kommen, wenn nämlich zufolge der Dränung eine große Verbesserung der Durchlässigkeit des Bodens eintritt, und zwar zufolge einer Reißbildung, die durch das Eintrocknen des Bodens entsteht, wie sich das im Wieringermeerpolder erwarten läßt. Hierauf kann ich nicht weiter eingehen.

0 bis zu 5 mm zunimmt, nur 10 cm betragen kann. Wenn man weiter erwägt, daß gerade in diesen Böden die Anzahl nicht kapillarer Räume oder von Räumen mit nur geringer kapillarer Steighöhe sehr groß sein wird, und daß also viel Wasser verdunsten muß, um den Grundwasserstand um 1 cm fallen zu lassen, so folgt hieraus, daß sich der Grundwasserstand in diesen Böden im Laufe des Jahres nur wenig ändern wird. Die Dränstränge und Gräben usw. sind ja instande, den Grundwasserstand immer niedrig zu halten.

Andererseits wird die Strangentfernung, wenn der Boden an sich weniger durchlässig ist — wie im obengenannten Fall —, aber noch bis sehr tief unter der Erdoberfläche durchlässig bleibt, einen großen Einfluß ausüben, insofern der Grundwasserstand in der Mitte zwischen den Dränsträngen, wenn diese zu weit voneinander entfernt liegen, zu hoch steigen wird. Die Änderungen des Grundwasserstandes im Laufe eines Jahres werden den bei dem ersten Typus besprochenen ähnlich sein, da auch jetzt wieder die Wassermenge, die durch den Boden hindurch abfließen kann, gegenüber dem Regenfall, der Verdunstung und dem Wasserverbrauch der Pflanzen gering ist. Für denselben Boden aber kann bei einer geeigneten, verhältnismäßig viel kleineren Strangentfernung die Wassermenge, die durch den Boden hindurch nach den Dränsträngen abfließt, wieder groß genug sein, um große Mengen überflüssigen Regenwassers abzuführen. Je größer die Durchlässigkeit des Bodens an sich ist — während die Tiefe, bis wohin die Boden durchlässig bleibt, gleich ist —, um so größer kann die Strangentfernung sein, während die Grundwasserstände immer niedrig bleiben.

Auf dem Entwässerungs-Versuchsfeld im Rietwijkeroorderpolder in der Nähe von Amsterdam<sup>1)</sup> treffen wir einen Fall an, wo die Strangentfernung schon einen wahrnehmbaren Einfluß auf die Änderungen des Grundwasserstandes im Laufe des Jahres ausübt. Hier sind Grundwasserstandsröhren in der Mitte zwischen den Dränsträngen (Tiefe 102 cm unter der Erdoberfläche) mit einer Entfernung von 10 m, 15 m und 20 m voneinander, in der Mitte zwischen den offenen Gräben mit einer Tiefe von 60 cm und einer Entfernung von 10 m voneinander, sowie mitten auf dem nicht entwässerten Teil eingebracht. Die Grundwasserstände und der Abfluß der Dränstränge und der offenen Gräben werden täglich gemessen.

In der Abb. 3 sind die Grundwasserstände dargestellt, wie sie in den Monaten November 1935 bis zum Februar 1936 ermittelt worden sind. Hieraus sieht man, daß die Änderungen in den Grundwasserständen in der Mitte zwischen den Dränsträngen mit einer Entfernung von 10 m voneinander und in den Grundwasserständen in der Mitte zwischen den offenen Gräben mit einer Entfernung von 10 m voneinander recht klein waren: im ersten Fall nämlich von 90 bis zu 102 cm und im zweiten Fall von 50 bis 60 cm unterhalb der

<sup>1)</sup> Der Boden enthält von 0–40 cm unterhalb der Erdoberfläche etwa 40 % Ton, 40 % Humus und 20 % Sand. Darunter folgt Ton oder lehmiger Ton mit nur einigen Prozentsen Humus. Tiefer hinunter wird der Boden leichter und enthält in einer Tiefe von 150 cm ungefähr 20 % Ton. Der Boden in den Schichten, die tiefer liegen als 40 cm unter der Erdoberfläche, enthält immer viel  $\text{CaCO}_3$ .

Erdoberfläche, während der Maximalabfluß des überflüssigen Regenwassers den Abflußmessungen nach 5 mm je 24 Stunden betrug. Für die Grundwasserstände zwischen den Dränsträngen mit einer Entfernung von 15 m voneinander waren die obengenannten Änderungen etwas größer, nämlich von 82 bis zu 102 cm, und für die Grundwasserstände zwischen den Dränsträngen mit einer Entfernung von 20 m voneinander wieder etwas größer, nämlich von 75 bis zu 102 cm, während der Maximalabfluß beidemale ebenfalls ungefähr 5 mm je 24 Stunden betrug. Die obengenannten Änderungen der Grundwasserstände waren auf dem nicht entwässerten Teil am größten, nämlich von 14 bis zu 53 cm unter der Erdoberfläche. Die Änderungen der Grundwasserstände werden also um so größer, je größer die Strang- oder Grabenentfernung ist<sup>1)</sup>, wie die Theorie der Wasserströmung im Boden es hätte voraussagen können.

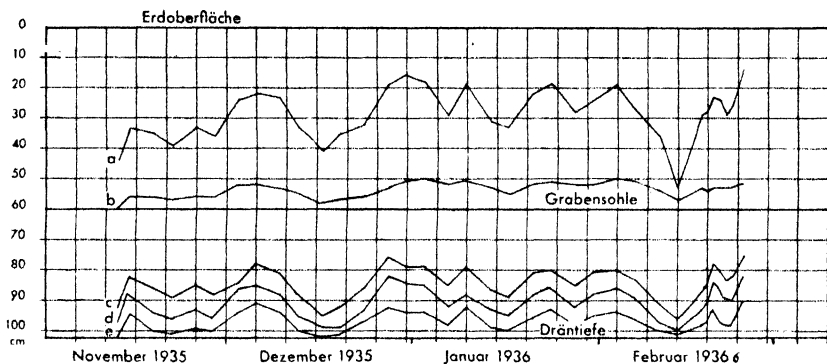


Abb. 3

Erläuterung: Alle Grundwasserstände sind in cm unter der Erdoberfläche angegeben.

- a Grundwasserstand auf dem nicht entwässerten Teil.
- b Grundwasserstand in der Mitte zwischen offenen Gräben mit einer Grabenentfernung von 10 m.
- c Grundwasserstand in der Mitte zwischen Dränsträngen mit einer Strangentfernung von 20 m.
- d Grundwasserstand in der Mitte zwischen Dränsträngen mit einer Strangentfernung von 15 m.
- e Grundwasserstand in der Mitte zwischen Dränsträngen mit einer Strangentfernung von 10 m.

Wenn wir weiter die Grundwasserstandslinien für die Dränstränge mit einer Entfernung von 10 m voneinander auf beiden genannten Versuchsfeldern vergleichen, dann sehen wir ganz deutlich den großen Unterschied. Die Ursachen davon haben wir schon besprochen. Den Boden im Rietwijkeroorderpolder können wir weiter noch an Hand der Resultate der Bohrlöchermethode zur Ermittlung der Durchlässigkeit kontrollieren.

Auf einem Grundstück von ungefähr 67 ha, das an dieses Versuchsfeld grenzt, sind nämlich in regelmäßigen Entfernungen vonein-

<sup>1)</sup> Das nicht entwässerte Grundstück ist 300 m lang und 135 m breit und ist von einem Seitengraben umgeben.

ander 67 Bohrlöcher gebohrt werden, in denen die Durchlässigkeit mit Hilfe der Bohrlöchermethode ermittelt worden ist. Diese Durchlässigkeit änderte sich in regelmäßigen Abständen nur recht wenig und war im Mittel 0,74 m je 24 Stunden für die Schicht von ungefähr 70 bis 150 cm unter der Erdoberfläche (die Tiefe der Bohrlöcher war 150 cm). Zuzufolge der Homogenität des Grundstückes kann angenommen werden, daß die Durchlässigkeit des Bodens des Versuchsfeldes (dieses wurde im Sommer des Jahres 1935 angelegt) ebenfalls 0,74 m je 24 Stunden ist. Auch der Boden, der tiefer liegt, wird im Anfang wenigstens noch dieselbe Durchlässigkeit behalten. Nehmen wir an, daß der Boden bis zu einer Tiefe von 2 m dieselbe Durchlässigkeit behält und darunter undurchlässig ist, so sind wir imstande, die gemessenen Grundwasserstände quantitativ zu erklären<sup>1)</sup>. Die Berechnungen müssen dieses Mal mit Hilfe der Gleichung:

$$S = \frac{k (H_0^2 - h_0^2)}{e^2}$$

ausgeführt werden, worin S den Abfluß in m je 24 Stunden, k den Durchlässigkeits-Koeffizienten in m je 24 Stunden, e die halbe Strang-entfernung und  $H_0$  und  $h_0$  die Grundwasserstände in m in der Mitte zwischen den Dränsträngen und über den Dränsträngen, gerechnet vom Niveau der Dränstränge ab, bedeuten. Wenn S also 5 mm = 0,005 m je 24 Stunden, k = 0,74 m je 24 Stunden, e gleich 5 m, 7,5 m und 10 m,  $h_0$  für die gedrännten Teile 2,00 — 1,02 = 0,98 m und für die Teile zwischen den offenen Gräben 2,00 — 0,60 = 1,40 m

		Der Abfluß ist 5 mm je 24 Stunden	
Strang- oder Grabenentfernung		Grundwasserstände in cm unterhalb der Erdoberfläche, wie wir sie berechnet haben	Grundwasserstände in cm unterhalb der Erdoberfläche, wie sie experimentell ermittelt worden sind
Dränstränge	10 m . . . .	94	90
	15 m . . . .	84	82
	20 m . . . .	72	75
Gräben	10 m . . . .	54	51

<sup>1)</sup> Leider machte Zeitmangel es uns damals unmöglich, die Bohrlöcher tiefer auszubohren, um die Durchlässigkeit der Schicht von 1,5 m bis zu 2 m und tieferer Schichten experimentell zu ermitteln. Das ist aber in der letzten Zeit (1937) geschehen. In einem Teil der Bohrlöcher (35 Stück; am weitesten entfernt vom Entwässerungsversuchsfelde) wurden die k-Bestimmungen der Schicht bis zu 1,5 m Tiefe wiederholt. Im Mittel wurde jetzt (1937) k = 0,91 gefunden, während in den gleichen Bohrlöchern im Jahre 1936 k = 0,79 ermittelt worden ist. Der Unterschied ist sehr gering (Abweichung 7% des Mittelwertes). Weiter war die Durchlässigkeit der Schicht von 1,5 m bis zu 2 m im Mittel 0,86, während die Durchlässigkeit der Schicht unterhalb 2 m so klein war, daß sie vernachlässigt werden kann. Hieraus folgt, daß der Boden tatsächlich bis zu 2 m homogen (k im Mittel 0,74 oder 0,89) und unterhalb 2 m undurchlässig ist. Nimmt man für die obigen Berechnungen k = 0,89 an (der Wert 0,74 ist wahrscheinlich besser, s. o.), so bekommt man 95, 87, 77 und 55 cm anstatt 94, 84, 72 und 54 cm. Wie zu erwarten war, werden die Resultate durch diese Änderung des k-Werts kaum beeinflusst, weil  $H_0$  proportional der Wurzel aus k ist.

ist, dann kann man die  $H_0$ -Werte berechnen und in m, und also auch in cm, unter der Erdoberfläche umrechnen, indem man sie von 2,00 abzieht. In der umstehenden Tabelle sind diese Werte und die experimentell ermittelten Werte bei demselben Abfluß angegeben.

Aus der Tabelle sieht man, daß die berechneten und die experimentell ermittelten Grundwasserstände miteinander übereinstimmen. Hieraus folgt also, daß in einem bis 2 m unter der Erdoberfläche durchlässigen Boden mit einem k-Koeffizienten von 0,74 m je 24 Stunden, der mit einer Strangentfernung von 10 m und einer Tiefe von 1,02 m gedränt wird, der Grundwasserstand in der Mitte zwischen den Dränsträngen infolge eines überflüssigen Regenfalls von 5 mm je 24 Stunden nur bis zu einer Höhe von 10 cm über das Niveau der Dränstränge steigt. Wenn der Boden aber nur bis zu der Tiefe der Dränstränge (1,02 m) eine Durchlässigkeit von 0,74 m je 24 Stunden hätte, während der Boden darunter undurchlässig wäre, dann wäre der Grundwasserstand bei einem Abfluß von 5 mm je 24 Stunden und bei einer Strangentfernung von 10 m bis zu 61 cm unter die Erdoberfläche gestiegen ( $h_0$  ist jetzt gleich 0). Der Grundwasserstand wäre dann also von 102 bis zu 61 cm gestiegen, wenn der überflüssige Regenfall von 0 bis zu 5 mm je 24 Stunden zugenommen hätte. Die große Bedeutung einer durchlässigen Bodenschicht unterhalb der Dränstränge geht hieraus recht deutlich hervor.

Was den Einfluß der Strangentfernung betrifft, können wir ganz kurz sein. Sowohl experimentell als den Berechnungen nach sehen wir, daß die Grundwasserstände zwischen den Dränsträngen bei einer Strangentfernung von 10 m am niedrigsten sind, dann folgt die Dränung mit einer Strangentfernung von 15 m, dann die mit einer Strangentfernung von 20 m, während die Grundwasserstände auf dem nicht entwässerten Teil am höchsten sind. Wir treffen hier also auch in dieser Hinsicht völlige Übereinstimmung mit der Theorie der Wasserströmung im Boden an. Es ist interessant, den Einfluß der Tiefe der Einzelentwässerungssysteme zu studieren. Sowohl den experimentell ermittelten wie den berechneten Grundwasserständen nach ist der Tiefenunterschied der Grundwasserstände in der Mitte zwischen den Dränsträngen und zwischen den offenen Gräben mit einer Entfernung von 10 m ungefähr dem Unterschied in Tiefe der Grabensohle und der Dränstränge gleich (nämlich 0,42 m; der Unterschied zwischen den Grundwasserständen ist der Berechnung nach 0,40 m und der experimentellen Ermittlung nach 0,39 m). Die Tatsache, daß erstens der Boden bis zu einer Tiefe von 2 m durchlässig ist, während zweitens die Schicht von 0,60 bis 1,02 m unter der Erdoberfläche ungefähr dieselbe Durchlässigkeit hat wie die Schicht von 40 bis zu 60 cm unter der Erdoberfläche, führt zu diesen Resultaten. Wenn der Boden nur bis zu 1,02 m unter der Erdoberfläche durchlässig wäre (k auch gleich 0,74 m je 24 Stunden), während der Boden darunter undurchlässig wäre, so wäre bei einem Abfluß von 5 mm je 24 Stunden der Grundwasserstand in der Mitte zwischen den Dränsträngen bei einer Entfernung von 10 m 61 cm unter der Erdoberfläche und der Grundwasserstand zwischen den Gräben bei einer Entfernung von 10 m ( $h_0 = 0,42$  m) 43 cm unter der Erdoberfläche.

Ein Tiefenunterschied von 42 cm hätte jetzt nur einen Unterschied der Grundwasserstände von 18 cm ( $61 - 43 = 18$ ) herbeigeführt. Nur wenn der Boden auch unterhalb der am tiefsten liegenden Dränstränge bis in große Tiefe durchlässig bleibt und der Boden zwischen den höher und den tiefer liegenden Dränsträngen dieselbe Durchlässigkeit hat wie die Schicht oberhalb der höher liegenden Dränstränge, nur dann wird der Grundwasserstand in der Mitte zwischen den Dränsträngen um so viel fallen, als die Dräntiefe größer ist.

Weiter folgt aus der Abb. 3, daß man bei einer tieferen Lage der Dränstränge die Entfernung größer machen kann, wie auch aus der Theorie der Wasserströmung im Boden hervorgeht. Wir sehen ja sogar, daß der Grundwasserstand in der Mitte zwischen den Dränsträngen bei einer Strangentfernung von 20 m niedriger ist als der Grundwasserstand in der Mitte zwischen den offenen Gräben bei einer Entfernung von 10 m.

Weiter wird es klar sein, daß in der Praxis zwischen den meist ausgesprochenen Typen mehrere Übergänge vorkommen, deren Eigenschaften zwischen denen der besprochenen äußersten Typen liegen.

Im vorhergehenden habe ich gezeigt, daß drei Punkte für die Bodenbeschaffenheit und das Entwässerungsbedürfnis maßgebend sind, nämlich: erstens die Durchlässigkeit des Bodens an sich, zweitens die Weise, in der sich die Durchlässigkeit zugleich mit der Tiefe unter der Erdoberfläche ändert, und drittens die Tiefe, bis zu der der Boden durchlässig bleibt. Mit dem, was ich im Abschnitt I über die Bohrlöcherermethode zur Ermittlung der Durchlässigkeit des Bodens gesagt habe, hoffe ich klargemacht zu haben, daß die obengenannten Faktoren sehr gut mit Hilfe der Bohrlöcherermethode ermittelt werden können, so daß die Bedeutung dieser Methode für die Praxis klar einzusehen ist. Ich hoffe, daß es genügt, hier wenigstens ein Beispiel kurz behandelt zu haben, so daß es nicht nötig ist, noch andere Beispiele anzuführen.

#### Literatur.

1. *Hooghoudt S. B.* Bijdragen tot de kennis van eenige natuurkundige grootheden van den grond, No 4; Bepaling van den doorlaatafactor van den grond met behulp van pompproeven (z. g. Boorgatenmethode); Verslagen van Landbouwkundige Onderzoekingen, 1936, S. 449—541.
2. *Hooghoudt S. B.* Bijdragen tot de kennis van eenige natuurkundige grootheden van den grond, No 2; De doorlatendheid, de maximale capillaire stijghoogte, de hoeveelheid hangwater, de grootheid van Porchet en het specifiek oppervlak. De methoden ter bepaling van deze grootheden en hun onderling verband; Verslagen van Landbouwkundige Onderzoekingen, 1934, S. 215—345.
3. *Janola R.* Neue Richtlinien für die Wahl der Dräntiefe und die Festsetzung der Dränabstände in der Tschechoslowakischen Republik; Transactions of the sixth Commission of the International Society of Soil Science, Groningen, Volume A, S. 97—108.
4. *Hooghoudt S. B.* Bijdragen tot de kennis van eenige natuurkundige grootheden van den grond No. 6; Verslagen van Landbouwkundige Onderzoekingen, 1937, S. 461—676.
5. *Zuur A.* Von der Entsalzung des Bodens auf dem Entwässerungs-Versuchsfeld in der Nähe von Kolhorn; Transactions of the sixth Commission of the International Society of Soil Science, Groningen, 1932, Volume A, S. 188—201.

## 7. Die Grundwasserstandsschwankungen in Verbindung mit der Frage fortschreitender Austrocknung

Von

Prof. Dr. W. Koehne, Berlin, Deutschland.

Eine der wichtigsten Fragen der Bodenkunde ist die nach den Schwankungen der Bodenfeuchtigkeit in längeren oder kürzeren Zeiträumen. Besonders wichtig ist dabei die Frage, wann die Bodenfeuchtigkeit für die Kulturpflanzen unzureichend wird. Fortlaufende Messungen der Bodenfeuchtigkeit sind bekanntlich zeitraubend und kostspielig. Sie werden sich auch in Zukunft wohl nur in beschränktem Umfange durchführen lassen; Rückschlüsse auf die Vergangenheit auf Grund von Messungen der Bodenfeuchtigkeit sind kaum möglich. Es liegt daher nahe, einmal die Frage aufzuwerfen, welche mittelbaren Verfahren verfügbar sind, um ein Bild von den Schwankungen der Bodenfeuchtigkeit in langen Zeiträumen zu erhalten. Ein gewisses Bild geben die meteorologischen Messungen, also die der Niederschläge, der Temperatur, der Luftfeuchtigkeit, der Windstärke. Aber ihr Einfluß auf die Bodenfeuchtigkeit wird durch den jeweiligen Pflanzenbestand stark abgewandelt; ihre Gesamtwirkung ist schwer zu erfassen, besonders wenn es sich um lange Zeiträume handelt.

Recht häufig ist versucht worden, die Zusammensetzung und den Zustand des Gedeihens der Pflanzenbestände heranzuziehen, um die Schwankungen der Bodenfeuchtigkeit zu beurteilen. Aber der Pflanzenbestand hängt stark von der Bodenpflege ab und läßt daher meist nur bei ganz gleichartig behandelten Böden sichere Schlüsse auf die Bodenfeuchtigkeit zu. Am meisten hat er zur Erkennung zu nasser Böden beigetragen; bei zu trockenen Böden werden aber die Schlüsse unsicherer. Neuerdings sind aus der Verbreitung pontischer Pflanzen und Tiere weitgehende Schlüsse auf Klimaänderungen im Sinne einer Austrocknung gezogen worden. Wie aber *Stremme*<sup>1)</sup> sehr richtig bemerkt hat, sind die auserwählten Glieder der pontischen Flora durchweg kalkhold. Die Flächen, die ihnen günstige Bedingungen liefern, sind stark von der Anwendung von Kalk- und Kunstdünger abhängig. Auch Abraum von mit Kalk aufgeschotterten Straßen, Bauschutt und Müll können sie beeinflussen. Wir müssen also äußerst vorsichtig damit sein, aus der Verbreitung pontischer Pflanzen und Tiere weitgehende Schlüsse auf Änderungen der Bodenfeuchtigkeit und des Klimas zu ziehen.

Aus den Jahresringen alter Bäume lassen sich Schlüsse auf die langjährigen Schwankungen der Bodenfeuchtigkeit ziehen, voraus-

---

<sup>1)</sup> Schriftenverzeichnis am Schluß.

gesetzt, daß andere Einflüsse, wie Raupenfraß, künstliche Grundwasserabsenkung und dergleichen, ausgemerzt werden. Dieses Verfahren dürfte in Zukunft noch manche brauchbare Frucht bringen.

Auch die Verschiebung der Grenzen von Sumpf und Wiese, Wiese und Acker, Acker und Ödland oder Wald läßt häufig Schlüsse auf Schwankungen der Bodenfeuchtigkeit zu. Häufig liegen diese Grenzen nicht fest, sondern verschieben sich in nasseren Jahresreihen zugunsten der wasserbedürftigeren Pflanzen, in trockeneren Jahresreihen in umgekehrter Richtung.

Nun haben neuerdings die regelmäßigen Grundwassermessungen einen großen Umfang angenommen. Ihre Zahl nimmt ständig zu und hat in Deutschland rund 15 000, in den Vereinigten Staaten von

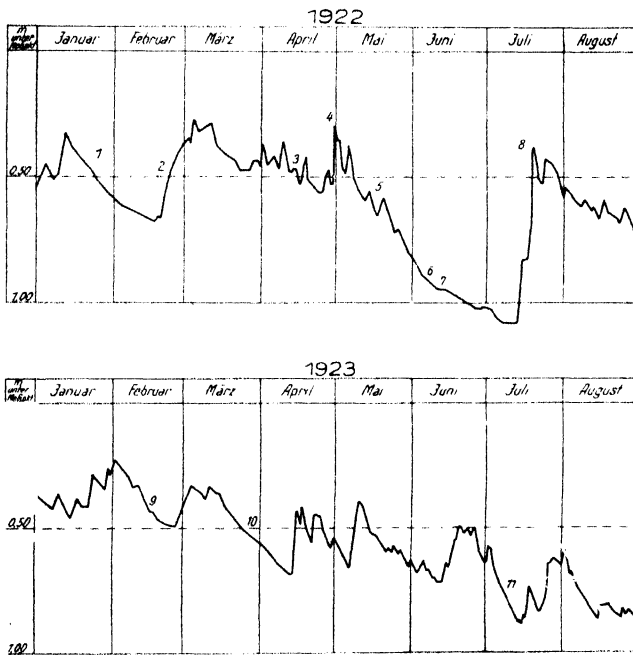


Abb. 1: Grundwasserstände in einem Niedermoor in Berlin-Zehlendorf.

1. Gleichmäßiges Sinken des Grundwasserspiegels bei gefrorenem Boden.
2. Schneeschmelze bei gefrorenem Boden bewirkt Steigen des Wasserspiegels.
3. Steiles Fallen, da das Wetter sehr warm und windig war.
4. Starker Anstieg durch heftigen kalten Regen.
5. Regenschauer, warm, Gras wächst schnell.
6. Heiß und sehr trocken, der Boden trocknet aus.
7. Ein Landregen feuchtet den Boden an und hält das Fallen des Grundwasserspiegels auf.
8. 125 mm Niederschlag in einer Woche heben den Grundwasserspiegel kräftig an und durchfeuchten den Boden.
9. Starkes Fallen des Spiegels bei starkem Frost.
10. Fast regenlose Zeit von 1 Monat Dauer; auf benachbartem Sandboden herrscht zum Schluß Dürre.
11. Starkes Sinken des Spiegels bei heißem Wetter.



Monatsmittel der Grundwasserstände von Sarkow, rund 3 km vom Bober. 1915 - 1934.

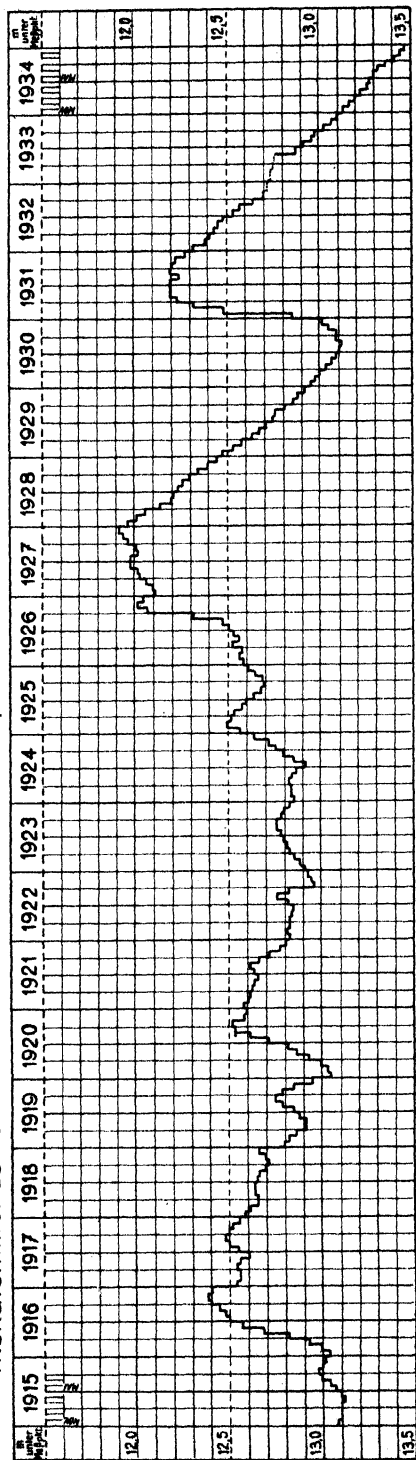


Abb. 2: Grundwasserganglinie von Sarkow im Odergebiet. Monatsmittel.

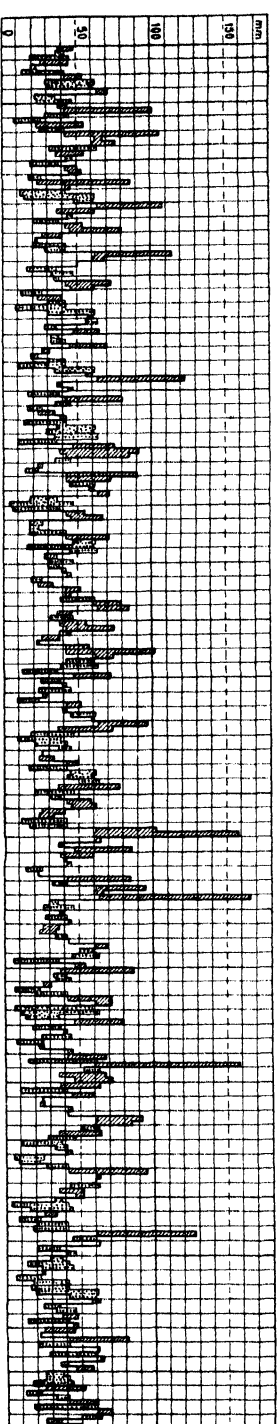
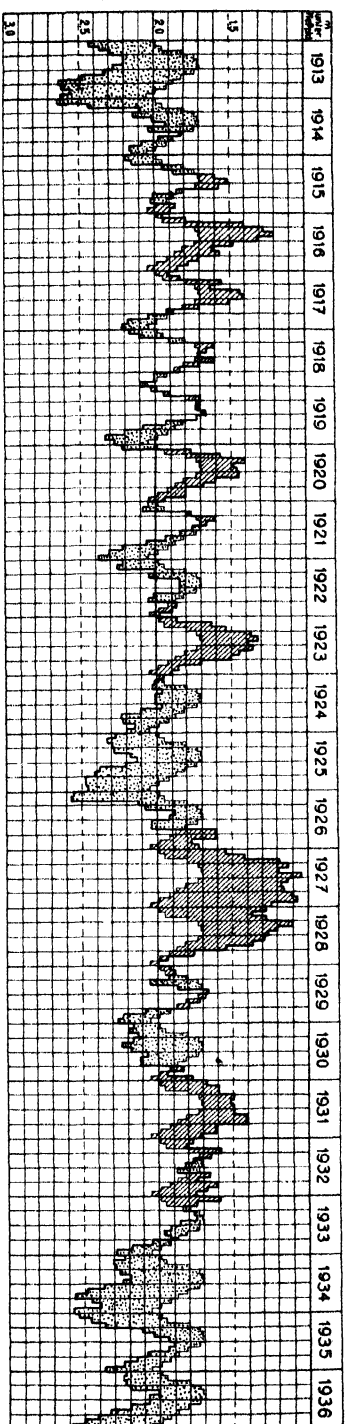


Abb. 3: Grundwasserganglinie von Elbe im Elbegebiet (Monatsmittel ohne starke Linien) im Vergleich mit den Niederschlägen von Treuenbrietzen (Monatssummen). Daneben sind bei jedem Jahr die Monatsmittel von 1916/35 eingetragen (schwache Linien).

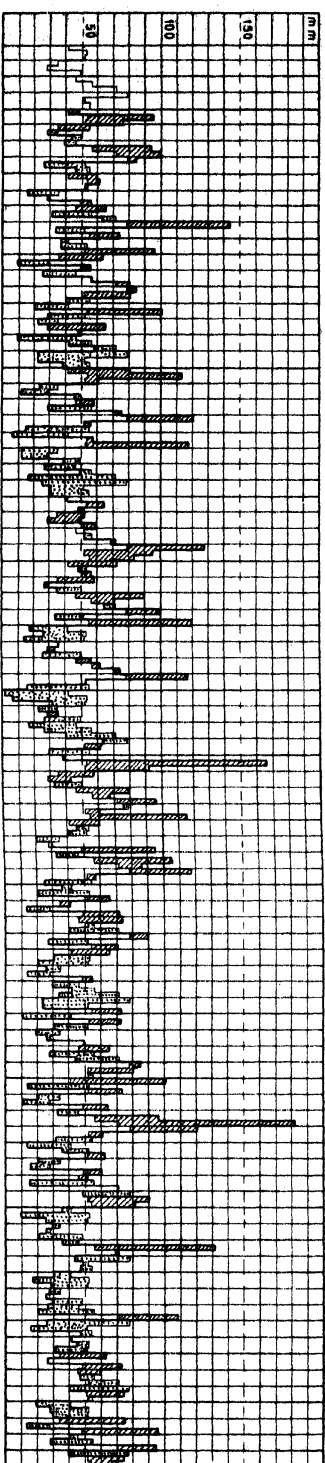
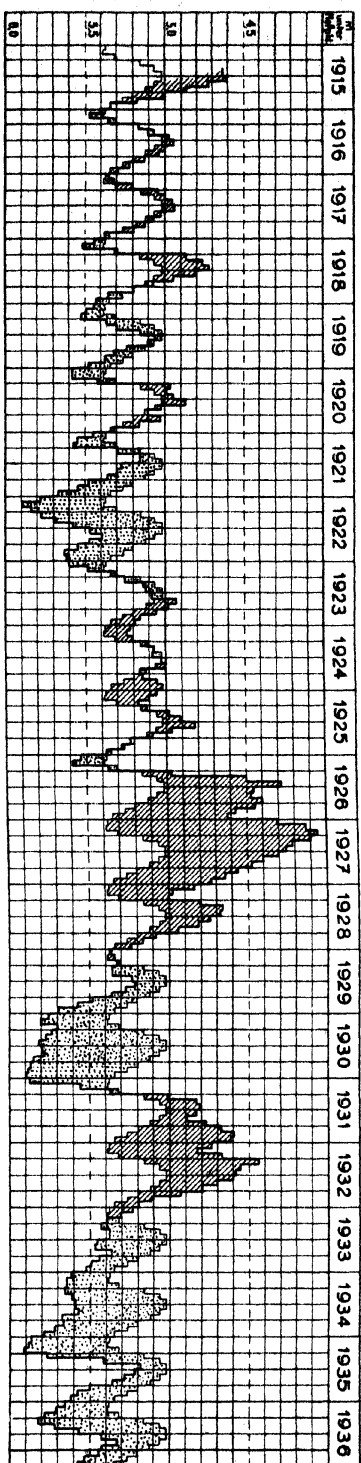


Abb. 4: Grundwasserganglinie von Wunstorf im Wesergebiet (Monatsmittel) im Vergleich zu den Niederschlägen (Monatssummen). Daneben sind bei jedem Jahr die Monatsmittel von 1916/35 eingetragen.

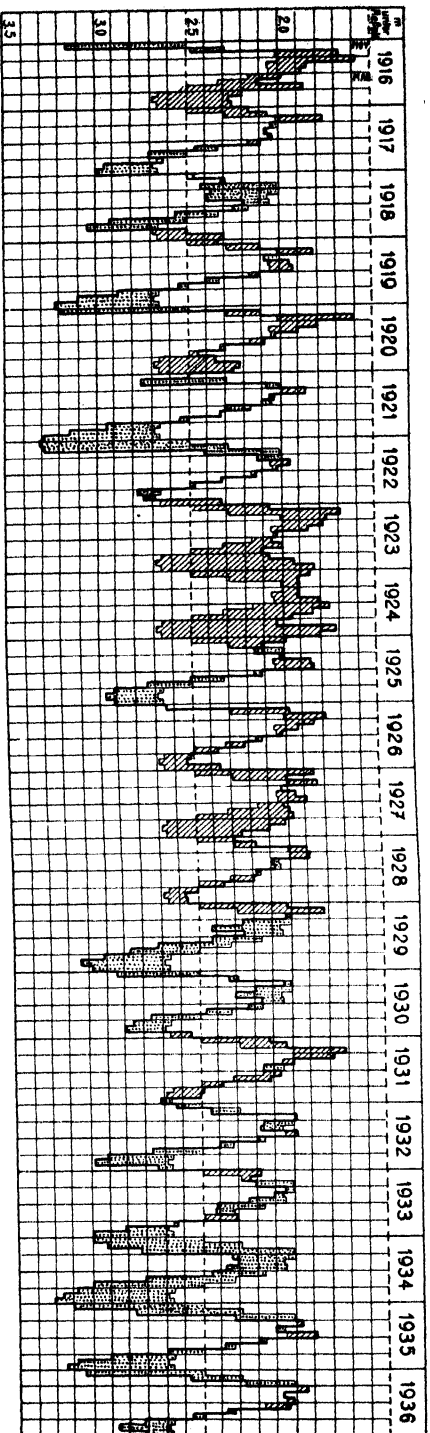


Abb. 5: Grundwasserganglinie von Ummeln im Fausgebiel (Monatsmittel). Daneben sind bei jedem Jahr die Monatsmittel 1916/35 mit einer schwächeren Linie eingetragen.

Nordamerika etwa halb so viel erreicht. In gewissem Grade hängen die Schwankungen des Grundwasserstandes von den gleichen Einflüssen ab, wie die der Bodenfeuchtigkeit, und es sind manche Übereinstimmungen im zeitlichen Gang beider Erscheinungen zu erwarten, wenn auch die Schwankungen des Grundwasserstandes gegenüber denjenigen der Bodenfeuchtigkeit häufig eine mehr oder minder große *Verzögerung* zeigen werden.

Wesentlich verwickelt wird der Vergleich durch die künstlichen Eingriffe in die Vorflutverhältnisse, die die Bergwerke, Wasserwerke, Fluß- und Kanalbauten u. a. m. hervorgerufen haben. Sie erschweren es, den Einfluß der Klimaschwankungen und der Pflanzenkultur bei beiden Erscheinungen zu erkennen. Ich möchte daher im folgenden zunächst möglichst solche Meßstellen betrachten, bei denen mit genügender Wahrscheinlichkeit anzunehmen ist, daß keine größeren Änderungen der Vorflutverhältnisse eingetreten sind.

Je geringer die Tiefe des Grundwasserspiegels unter Gelände ist, um so mehr wird der zeitliche Gang der Spiegelschwankungen mit dem der Schwankungen der Bodenfeuchtigkeit übereinstimmen. Je tiefer der Spiegel unter Flur liegt, um so größere Verzögerungen gegenüber dem Gange der Bodenfeuchtigkeit sind zu erwarten.

Zunächst möchte ich Ihnen ein Beispiel eines flachliegenden Grundwasserspiegels in einem Moore vorführen. (Abb. 1.)

Sie sehen zunächst, wie im Frühjahr bei fast gesättigtem Boden jeder Regenguß einen starken Anstieg des Spiegels hervorruft. Eine kurze Wärmewelle, die über Europa hinging und die Böden austrocknete, prägte sich in diesem Grundwasserspiegel ebenfalls aus. Mit dem lebhaften Verbrauch der Pflanzenwelt im Mai nimmt die Bodenfeuchtigkeit ab und der Grundwasserspiegel sinkt. Schwächere Sommerregen vermögen den Boden nur wenig anzufeuchten, starke aber durchtränken ihn, so daß der Spiegel kräftig gehoben wird. Dürreperioden lassen sich im starken Fallen des Spiegels deutlich ablesen.

Ein Gegenbeispiel von einem tiefen Spiegel zeigt, wie die Einzelvorgänge ausgelöscht sind, dafür aber die Gesamtwirkung mehrjähriger Zeiträume klar hervortritt. Wir sehen, ob sie reich oder arm an Bodenfeuchtigkeit waren. (Abb. 2.)

Von einer Anzahl von Brunnen liegen mehr als 20jährige Reihen wöchentlicher Messungen vor, die zwar nicht alle Einzelheiten im Gange des Spiegels erfassen können, aber eine gute Gesamtübersicht bieten. Diese tritt besonders gut hervor, wenn wir die aus den Monatsmitteln gebildete Ganglinie zeichnen, ferner für jeden der 12 Monate das 20jährige Mittel berechnen, es bei jedem Monat ebenfalls eintragen und die Abweichungen einheitlich behandeln. In den Abb. 3—5 sind die Überschüsse schraffiert, die Fehlbeträge punktiert. In entsprechender Weise sind auch die Niederschläge behandelt.

Betrachten wir zunächst den jährlichen Gang des Grundwasserspiegels, so sehen wir ein Fallen in der Wachstumszeit, ein Steigen in der Zeit der Pflanzenruhe. Der Spiegelgang in den Brunnen hinkt hier hinter dem Gange der Bodenfeuchtigkeit beträchtlich nach, steht aber im übrigen zweifellos in Beziehung zu ihm. Ähnlich liegen die

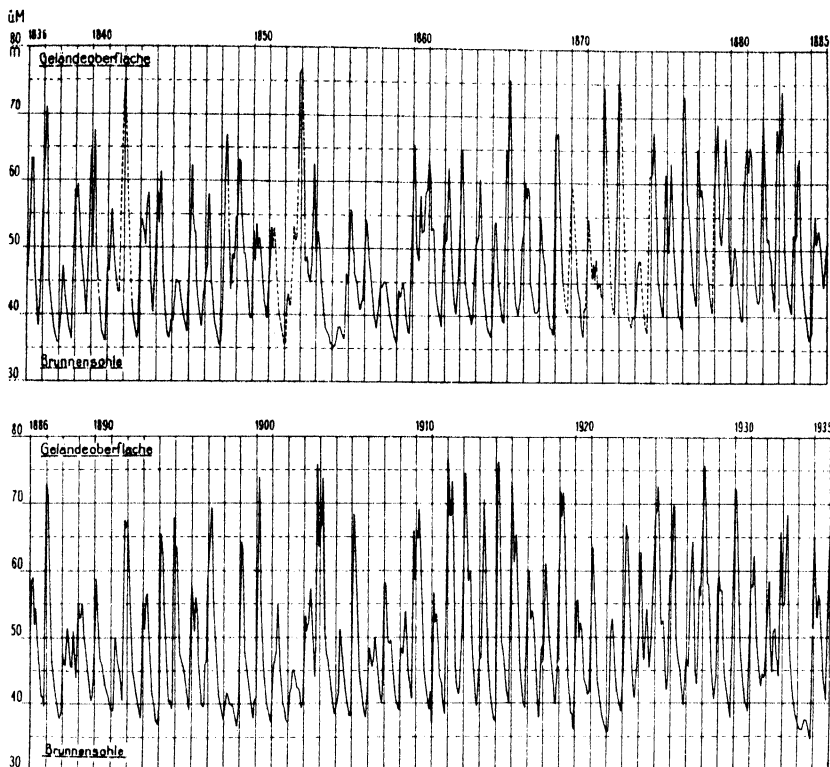


Abb. 6: 100jährige Brunnenbeobachtung in West-Sussex, England, nach Thomson.

Dinge auch beim Gange von Jahr zu Jahr; z. B. haben sehr nasse Sommer wie 1927 den Grundwasserspiegel zum Steigen gebracht, da die Verdunstung bei uns nicht mit dem Wasserreichtum Schritt hielt.

Beim Vergleich der Überschuß- und Fehlbetragsbilder fällt ferner auf, daß das Bild beim Grundwasser viel übersichtlicher und ausgeglichener ist als bei den Niederschlägen. Es gewährt uns dadurch auch eine gute Übersicht darüber, wie die Änderungen der Bodenfeuchtigkeit verlaufen sind. Die meisten Ganglinien, die ich Ihnen vorführen kann, erstrecken sich etwa über zwei Jahrzehnte und enthalten einige ausgesprochene Trockenjahre, in denen den tiefen Grundwasserständen auch eine geringe Bodenfeuchtigkeit entsprach. Sie zeigen aber keine fortschreitende Absenkung.

Die älteste mir bekannt gewordene regelmäßige Messung des Grundwasserspiegels stammt aus West-Sussex in England. (Abb. 6.) Diese Messungen haben schon 1836 begonnen und zeigen die starken Schwankungen des Spiegels im Kalkgebirge. Nasse und trockene Jahresreihen wechseln, ohne daß sich eine fortschreitende Senkung erkennen ließe. Die Messungen sind von Thomson veröffentlicht worden.

Schlüsse auf den Gang des Grundwasserstandes im letzten Jahrhundert können wir auch aus der Niedrigwasserführung der Flüsse

ziehen, nicht aber aus den Flußwasserständen allein, die sich auch durch die Vertiefung der Flußsohle nicht selten geändert haben.

Ein weiteres Hilfsmittel, um auf die Grundwasserstände zu schließen, bieten die Wasserstandsschwankungen von Senken, die in undurchlässigem Boden liegen und keinen sichtbaren Abfluß haben. Sie finden sich insbesondere in den großen bewaldeten diluvialen Sandaufschüttungen in Ostdeutschland und sind von mir gemeinsam mit *W. Friedrich* bearbeitet worden. In einem Fall bei der Försterei Wilhelmstal waren zu Anfang des 19. Jahrhunderts hohe Wasserstände vorhanden. Dann ging der Wasserspiegel zurück und auf vorher überflutetem Boden konnten Kiefern wachsen, die 120 Jahre alt wurden. Im Jahre 1915 fing das Grundwasser hier an zu steigen und erreichte im Jahre 1927 einen Hochstand, der etwa ebenso hoch lag wie rund 120 Jahre vorher. In den Zeiten stark steigenden Grundwassers war der Boden feucht, der Holzzuwuchs in den Wäldern gut. In den Jahren stark sinkenden Spiegels litten die Forsten durch Dürre, Raupenfraß und Waldbrände.

Für weiter zurückliegende Zeiten aber wird die Beurteilung äußerst schwierig und unsicher. Verschiedene Verfasser wie *Brückner*, *Gams* und *Nordhagen*, *Hennig* u. a. haben versucht, aus alten Urkunden Schlüsse auf die Klimaschwankungen und damit zusammenhängende Erscheinungen in geschichtlicher Zeit zu ziehen.

Wie schwierig das ist, wenn man nicht nur einzelne hervorstechende Erscheinungen betrachten, sondern eine wirkliche Gesamtübersicht gewinnen will, kann man erkennen, wenn man ähnliche Erhebungen in der Gegenwart macht. Zum Beispiel hatte in Nordamerika *Mc Glee* Fragebogen über den Rückgang des Grundwassers seit der Besiedlung durch die Weißen versandt. Wie aber *Meinzer* nachgewiesen hat, war das aus diesen vielen Antworten gewonnene Bild unrichtig.

Ein anderes Beispiel habe ich selbst bearbeitet. Im Dürrejahr 1934 war nämlich auf Veranlassung der Landesanstalt für Gewässerkunde eine Rundfrage über den Wassermangel im Vergleich mit dem früherer Trockenjahre bei den preußischen Behörden verbreitet worden. Die Antworten durch Gemeindevorsteher, Landjäger, Förster usw. boten eine verwirrende Fülle von Einzelheiten, deren Aufzeichnung zweifellos höchst wertvoll war, aber sie ergaben kein übersichtliches *Gesamtbild*. Noch viel weniger aber können wir ein solches von den Chroniken früherer Zeiten erwarten.

Eine übrigens fleißige Zusammenstellung, die zahllose Einzelheiten enthält, hat *R. Hennig* 1904 veröffentlicht.

Nach *Badermann* war der Sommer 995 bei Landsberg a. Warthe so trocken und heiß, daß alle Brunnen versiegten, Teiche austrockneten und ganze Dörfer ausstarben.

Eine Zusammenstellung in großen Zügen haben *Gams* und *Nordhagen* versucht. Danach scheinen die Kreuzzüge noch in eine feuchtere Zeit gefallen zu sein, die etwa bis 1250 n. Ch. reichte. In den Jahren 1322 bis 1338 und 1350 bis 1354 scheint die Trockenheit in Mitteleuropa groß gewesen zu sein, große Schäden durch Wanderheuschrecken wurden gemeldet.

Dazwischen aber fällt eine Hochwasserzeit unerhörten Ausmaßes; solche Hochwasser wie im Februar und Juli 1342 sind seitdem nicht mehr vorgekommen. In der Trockenzeit von 1370 bis 1393 fror der Bodensee dreimal zu.

Nach der Chronik von Landsberg an der Warthe begann im Jahre 1472 eine dreijährige dürre Zeit. Am 17. März 1473 blühten alle Bäume, es regnete nicht von Pfingsten bis Mitte September; alle Wasserflüsse und Bäche trockneten aus, nirgends konnte man mahlen, das Brunnenwasser mußte für Geld gekauft werden, alle Saat verdarb, viel Wald brannte nieder.

In den dürren Sommern 1473 und 1540 traten die ärgsten bisher bekannten Wasserklemmen ein. Damals muß auch die Bodenfeuchtigkeit ungemein niedrige Werte erlangt haben. Die nächsten etwa 250 Jahre scheinen wohl im großen und ganzen wieder feuchter gewesen zu sein. So stießen in den Jahren 1590 bis 1600 die Gletscher der Alpen stark vor. Doch war der Sommer 1592 in England so trocken, daß man durch die Themse bei London reiten konnte.

Im 19. Jahrhundert deutet das dreimalige Auftreten von Heuschreckenplagen darauf hin, daß das Klima im ganzen wieder trockener war. In den beiden Heuschreckenzeiten 1850 bis 1860 und 1883 bis 1896 wurde auch das Steppenpfehn (Syrphites peradoxus) in Deutschland beobachtet.

Wesentlich beeinflußt wurde die Bodenfeuchtigkeit ausgedehnter Gebiete durch die künstlichen Eingriffe in die Wasserstände. Das Mittelalter war die Zeit des Stauens. Die vorgeschriebenen Fasttage bei mangelnden Verkehrsmitteln veranlaßten zur Anlage zahlreicher Fischteiche. Ferner wurden die Handmühlen durch die Wassermühlen verdrängt, die dem Landesherrn eine bequeme Möglichkeit boten, von den Bauern Steuern einzuziehen; sie erhielten daher weitgehende Staugerechtsame. Endlich dienten die Staue in der Mark Brandenburg auch zur Verteidigung gegen die Wenden, indem sie einen Sumpfgürtel erzeugten.

Nach dem Dreißigjährigen Kriege setzte die Landgewinnung durch Trockenlegung der Sümpfe ein, wenn auch viele der um 1200 errichteten Staue bis heute erhalten geblieben sind.

Gewaltige Eingriffe in die Grundwasserverhältnisse traten ein, als es möglich wurde, die Maschinenkraft zur Zutageförderung unterirdischen Wassers einzusetzen. Dabei wurden anfänglich meist nur diejenigen Wirkungen der Entnahme beachtet, die in der Nähe der Stellen des Auspumpens schnell und heftig eintraten. Mehr und mehr wurde aber erkannt, daß die langsam sich ausbreitenden, weniger starken Einflüsse ebenfalls sehr bedeutsam sind. Während früher häufig nur mit Ausbreitungszeiten von Tagen und Wochen gerechnet wurde, haben kürzlich holländische Fachgenossen ausgerechnet, daß eine Entnahme von 100000 m<sup>3</sup>/Tag aus dem Geestgebiet der Veluwe eine sich 12 Jahre lang ausbreitende Grundwasserabsenkung zur Folge haben würde. Dabei dehnen sich schwache Spiegelabsenkungen über ein sehr großes Gebiet aus. Diese durch Änderung der Vorflutverhältnisse hervorgerufenen Verminderungen des Wassergehaltes im Boden vermag schon der Fachmann schwer genau von den durch Witterungsschwan-



kungen hervorgerufenen zu unterscheiden. Um so mehr liegt es nahe, daß der Laie beide Gruppen von Ursachen nicht auseinanderhalten kann.

Sonderbarerweise ist in der Öffentlichkeit immer noch der Irrwahn verbreitet, das Ziel der Kulturtechnik sei allein die Beseitigung eines Wasserüberflusses in wasserreichen Zeiten. Ihr zweites Ziel, die Wasseranreicherung in wasserarmen Zeiten, tritt immer mehr in den Vordergrund, nicht weil das Klima sich ändert, sondern weil der Wasserbedarf wächst und weil Dürren um so schädlicher wirken, je höher der Wert der von ihnen betroffenen Pflanzenkulturen ist. Hier winkt das Ziel, eine unterirdische Wasservorratswirtschaft zu treiben, den in nassen Zeiten gelieferten Vorrat zu vergrößern und zu strecken. Dadurch wird es möglich werden, die durch die technische Kultur hervorgerufene Verminderung des Bodenwassers auf die Zeiten schädlichen Überschusses zu beschränken, in den übrigen Zeiten aber zu verhindern und vielmehr eine Vermehrung zu erzielen. Zum Beispiel werden bei der Neuanpflanzung abgeholzter Waldflächen an Berghängen flache Horizontalgräben gezogen, die das abfließende Wasser in den Untergrund leiten und dadurch den Abfluß verzögern und ausgleichen. Auch bei der Flußkanalisierung wird häufig der Grundwasserspiegel gehoben. Ferner werden Hochwasserwellen in Wälder mit durchlässigem Boden eingelassen, wie das *Köbler* aus der badischen Rheinebene geschildert hat.

Nach Dürrejahre erscheinen regelmäßig in der Öffentlichkeit Angriffe gegen die Beseitigung eines Wasserüberschusses, wie sie zur Melioration gehört.

Zum Beispiel sah Prof. *Jaekel*, Greifswald, in jeder sogenannten Entwässerung, die zur landwirtschaftlichen Bodenverbesserung dient, eine schädliche Verminderung des Wasservorrats. In Wirklichkeit aber liegen die Dinge ganz anders. Sumpfböden, die ständig ganz oder fast bis oben hin mit Wasser gefüllt sind, vermögen in Zeiten reicher Niederschläge oder Schneeschmelze kein Wasser aufzunehmen, sondern lassen alle Überschüsse nutzlos abfließen. Erst wenn der Grundwasserspiegel etwas unter Flur abgesenkt worden ist, können Überschüsse in den Boden eindringen und in ihm aufgespeichert werden; erst dann ist also eine unterirdische Wasservorratswirtschaft überhaupt möglich.

Vor allem werden Böden mit recht tief liegendem Spiegel daraufhin zu untersuchen sein, ob sie für eine unterirdische Speicherwirtschaft ausgenutzt werden können. Die tiefsten Spiegellagen, die bekannt geworden sind, zeigen die verkarsteten Gebiete. Sie sind aber so durchlässig, daß hineingeleitete Wasser in wenigen Tagen wieder hinausgeflossen sein würde. Daher ist ihre Eignung zur künstlichen Vorratswirtschaft nur gering. Anders ist es mit Sand und sandigem Kies, wenn der Spiegel in großen Flächen etwa 10 m und mehr unter Flur liegt. Dann können dem Untergrund große Wassermassen zugeleitet werden. Allerdings hat man den Abfluß aus dem unterirdischen Speicherraum nicht so in der Hand wie den aus offenen Staubecken. Es gibt aber zwei Möglichkeiten, um ihn ganz oder teilweise zu regeln. Die eine besteht darin, daß die im Sand eingeschnittenen Täler durch Staudämme in Stufen geteilt werden. An die Entleerung der oberirdischen Staudämme schließt sich dann eine teilweise Entleerung

der unterirdischen an. Die zweite, kostspielige aber technisch recht vollkommene Möglichkeit besteht darin, das Wasser in Bedarfszeiten mit Pumpbrunnen aus dem unterirdischen Speicher zu entnehmen, um es zur Wasserversorgung und Bodenbewässerung zu verwenden.

Eines möchte ich zum Schluß meines Vortrages besonders betonen, nämlich, daß mehrjährige Trockenzeiten und Hochwasser größten Ausmaßes oft zeitlich nahe beieinander liegen. So platzte mitten in eine vieljährige Trockenzeit des Mittelalters das größte in Deutschland bekannte Hochwasser hinein. Neuerdings sind in Nordamerika nach der schweren Trockenzeit, die im Jahre 1934 ihren Höhepunkt fand, im Februar 1937 Katastrophenhochwasser gefolgt. Derartige Beispiele kann man in beliebiger Anzahl heraussuchen. Die von Laien oft mit großer Überheblichkeit vertretene Ansicht, daß man in niederschlagsarmen Jahreszeiten vor Wasserüberfluß gesichert sei und die Vorflutbeschaffung vernachlässigen müsse, ist grundfalsch. Für den verantwortungsbewußten Wasserwirtschaftler heißt es, gerade in solchen Zeiten wachsam zu sein und dafür zu sorgen, daß Regenfluten, die plötzlich hereinbrechen können, ohne übergroßen Schaden abgeführt werden.

#### Schriftenverzeichnis.

1. *Budermann*: Ernte und Witterung vor 600 bis 1000 Jahren und Aus der Chronik von Landsberg a. W. (Zeitschr. für angewandte Meteorologie, 53. Jahrg. 1936, H. 9, S. 301–305.)
2. *Denner*: Die künstliche Anreicherung des Grundwassers. (Zeitschr. der Deutsch. Geolog. Ges. Bd. 85, 1933, S. 511–522.)
3. *Gams und Nordhagen*: Postglaziale Klimaänderungen und Erdkrustenbewegungen in Mitteleuropa. München 1923.
4. *Hennig*: Katalog bemerkenswerter Witterungsereignisse. (Abhandl. des Preuß. Meteorol. Inst. Bd. II, Nr. 4, 1904, Dürrejahre S. 40, 47–50, 15. Hochwasser S. 30, 31.)
5. *Keller*: Weser und Ems. (Bd. I, 1901, S. 300. Bd. III, S. 564–569.)
6. *Keller*: Einfluß der Zerstörung der Wälder und der Trockenlegung der Sümpfe auf den Lauf und die Wasserverhältnisse der Flüsse. (X. Schiffahrts-Kongreß zu Mailand. Brüssel 1905.)
7. *Koehne*: Die Grundwasserbewegung im Grunewald bei Berlin. (Zeitschr. für Bauwesen 1925.)
8. *Koehne*: Die Entwässerung unseres Landes eine Gefahr? (Deutsche Wasserwirtschaft 1923, S. 72–74.)
9. *Koehne und Friedrich*: Ungewöhnliches Steigen des Grundwassers und Überschwemmungen in Senken ohne sichtbaren Abfluß. (Jahrb. für die Gewässerk. Norddeutshl. Besondere Mitteil. Bd. 8, Nr. 1, 1933.)
10. *Koehne*: Grundwasserstandsschwankungen und Austrocknungsgefahr. (Naturschutz, 16. Jahrg. 1935, Nr. 12, S. 265–269.)
11. *Koehne*: Zur Frage der «Versteppung». (Deutsche Wasserwirtschaft 1937, Nr. 2, S. 33–36.)
12. *Kohnke*: Bodenerosion in den Vereinigten Staaten und ihre Bekämpfung. (Petersb. Mitt. Jahrg. 1936, S. 305–307.)
13. *Soldan*: Befindet sich Norddeutschland in fortschreitender Austrocknung? (Der Bauingenieur 15. Aug. 1924, 5. Jahrg., H. 5, S. 455–461.)
14. *Stremme*: Die Böden der pontischen Pflanzengemeinschaften Deutschlands. (Aus der Heimat, Nr. 4, 1914.)
15. *Troßbach*: Wie kann die württembergische Forstverwaltung zur Aufhöhung der Niederwasser in den Flüssen Württembergs beitragen? (Allgem. Forst- und Jagdzeitung, 111. Jahrg. 1935, H. 12, S. 373–378.)

## 8. Versuche über die Sickerbewegung im wasserreichen und im wasserarmen Boden

Von

Prof. Dr. Ing. Th. Oehler, Ankara, Türkei.

Die Sickerbewegung ist ein Vorgang, der durch das Zusammenwirken verschiedener Kräfte zustandekommt, unter denen besonders die Schwerkraft, die Kapillarkraft, die Zähigkeit der Flüssigkeit (Wasser), die Bodentemperatur und der Luftdruck genannt seien, wobei unter Luftdruck der Druck der atmosphärischen, wie der Bodenluft zu verstehen ist. Die Sickerbewegung hat viel Ähnlichkeit mit dem kapillaren Anstieg, bei dem die gleichen Kräfte wirken. Jedoch ist deren Kraftrichtung, bezogen auf die Bewegungsrichtung, teilweise mit umgekehrtem Vorzeichen versehen.

Die Sickerversuche, über die hier berichtet wird, wurden in der Hauptsache von dem Vortragenden im Institut für Wasserwirtschaft und Wasserbau der Technischen Hochschule *Berlin* mit freundlicher Genehmigung des Institutsvorstehers, Herrn Prof. Dr. Ing. A. Ludin, vorgenommen.

Als Versuchseinrichtung dienten drei Eisenblechkästen von 60/60 cm Grundfläche und 1,65 m Höhe (Abb. 1). Sie wurden bis auf 1,50 m Höhe mit dem zu untersuchenden Boden gefüllt. 25 cm über der Sohle der Kästen waren zwei Dränrohre von 40 mm Lichtweite in waagrechter Lage stumpf gestoßen und gegen Verlagerung sicher eingebaut. Sie durchstießen die vordere und die hintere Wand der Kästen, so daß das durch die Stoßfuge aufgenommene Wasser leicht abfließen konnte. Zur Erleichterung des Abflusses wurde dafür gesorgt, daß an der Rückseite durch ein hochgeführtes Rohr Luft in die Dränrohre eindringen konnte, während sich das Wasser nach vorn ergoß.



Abb. 1. Eisenblechkasten, rechts Tafel mit Beobachtungsrohren

Die Ermittlung der Wasserdrücke im Innern der Kästen war durch Standrohre aus Glas ermöglicht, die am unteren Ende in waagrechte, bis zur Mittelachse der Kästen reichende Eisenrohre übergingen. Die Bodentemperatur wurde durch ein Stabthermometer, dessen Quecksilberkugel in der Mittelachse der Kästen in halber Höhe

zwischen den Dränrohren und der Bodenoberfläche lag, gemessen. Außerhalb der Kästen wurden Luftdruck und Temperatur bestimmt.

Das Füllmaterial war in Kasten I feiner Sand mit einer Korngröße von 0,3—0,1 mm, einem Porenvolumen von 37,6% und einer kapillaren Steighöhe von 14 cm.

Kasten II war mit wenig zersetztem Hochmoorboden und Kasten III mit stark zersetztem Niedermoorboden gefüllt.

In allen drei Kästen wurde der Boden trocken eingebracht und durch langsames Anfüllen mit Wasser von unten her eine möglichst dichte Lagerung und möglichst weitgehende Luftbeseitigung aus den Bodenporen erstrebt.

Eine weitere für diese Versuche verwendete Einrichtung ist in Abb. 2 wiedergegeben. Sie besteht im wesentlichen aus einem senkrechten, mit seitlichen Stützen versehenen Glasrohr von 25 mm innerer Weite, das am unteren Ende mit feinem Messingdrahtgewebe verschlossen ist, und an dessen Stützen Beobachtungsrohre durch Gummischläuche angeschlossen sind.

Das Glasrohr wurde ähnlich wie die Eisenkästen mit Boden gefüllt und hierauf die Luft durch ansteigendes Wasser verdrängt. Diese Einrichtung bedeutet insofern eine Vervollkommenung gegenüber den Eisenkästen, als sie nicht nur die Druckverhältnisse in den Versuchsböden, sondern auch die Wasserstände in diesen unmittelbar zu beobachten gestattete.

Die Versuche zerfielen in drei Gruppen:

1. Durchlauf bei überstauter Bodenoberfläche.
2. Versickerung bei absinkendem Wasserspiegel.
3. Versickerung von aufgebrachtem Wasser (Regen) bei tief-  
liegendem Grundwasser.

### *Versuchsgruppe 1.*

Die Versuche der Gruppe 1 hatten vor allem den Zweck, gute Anhaltspunkte über die Durchlässigkeit der verwendeten Böden zu erhalten. Hierbei ergaben sich ohne weiteres Vergleiche mit dem Gesetz von Darcy.

Die Ergebnisse dieser Versuche waren folgende:

1. Für die untersuchten Bodensorten und die verwendeten Gefällsverhältnisse wurde Übereinstimmung mit dem Gesetz von Darcy gefunden. Hierbei betrug das Gefällsverhältnis

$$J = \frac{\text{Druckhöhe}}{\text{Länge der Bodensäule}}$$

im Höchstfalle 1,2.

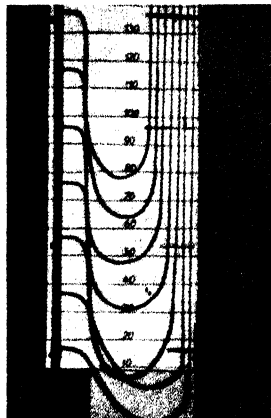


Abb. 2. Glasrohr mit Boden gefüllt (links) und Beobachtungsrohre (rechts)

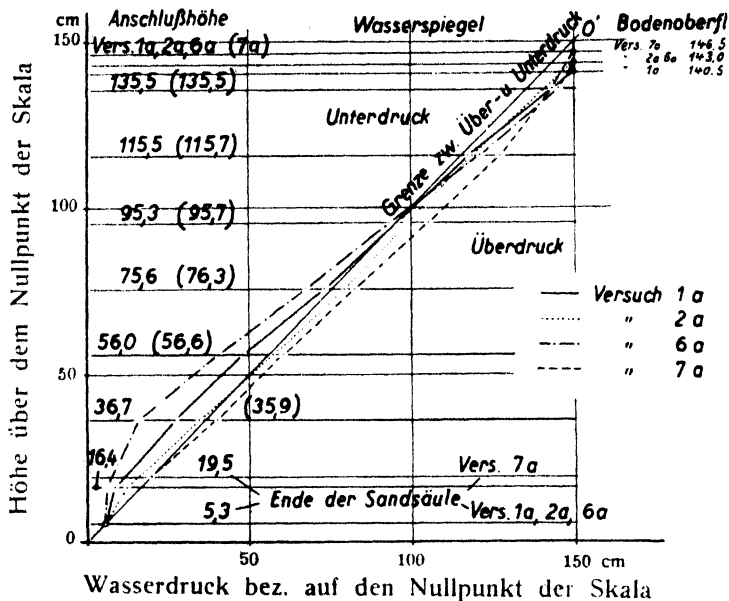


Abb. 3

Druckverhältnisse in einer Sandsäule bei verschiedener Überstauung in einem Glasrohr (Auslauf durch den vollen Säulenquerschnitt)

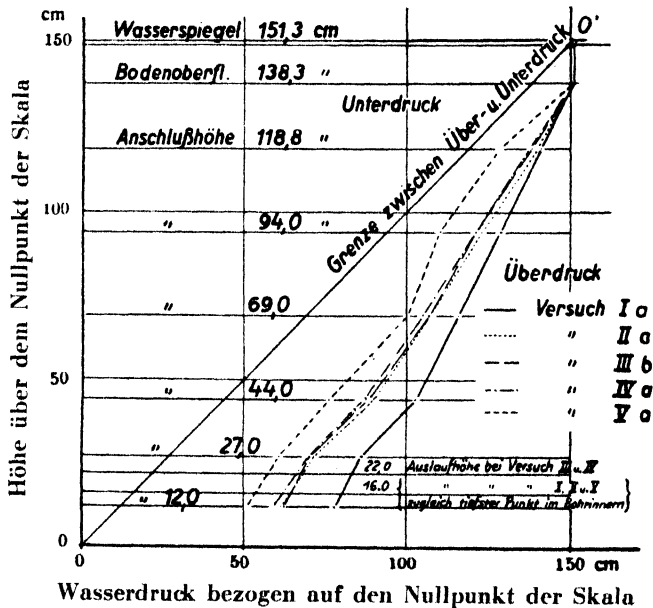


Abb. 4

Druckverhältnisse in einem mit Sand gefüllten Eisenblechkasten bei Überstauung (Auslauf durch eine Dränrohrfuge)

2. Der Sickerwert  $K$  war innerhalb eines scheinbar durchaus gleichmäßig gelagerten Bodens von Abschnitt zu Abschnitt stark wechselnd, doch bestand Übereinstimmung mit dem Gesetz von *Darcy*, sowohl für jeden Abschnitt, als auch für die ganze Bodensäule.

3. Infolge der verschiedenen Durchlässigkeit der einzelnen Abschnitte traten auch bei überstauter Bodenoberfläche an einzelnen Stellen Unterdrücke auf.

Abb. 3 veranschaulicht die Druckverhältnisse bei einigen Versuchen im Glasrohr, bei denen erhebliche Unterdrücke auftraten. Dagegen wurden in den Sickerkästen keine Unterdrücke nachgewiesen, was durch die anderen Auslaufverhältnisse zu erklären ist (Abb. 4).

### Versuchsgruppe 2.

Die zweite Versuchsgruppe beschäftigte sich mit den Vorgängen bei absinkendem Grundwasserspiegel, also mit Wasserbewegungen vorwiegend im wassergesättigten Boden, die jedoch möglicherweise durch Vorgänge in den nicht mehr gesättigten Schichten über dem Grundwasserspiegel, insbesondere im Kapillarsaum, beeinflusst werden.

Diese Versuche schlossen sich unmittelbar an die der Gruppe 1 an und unterschieden sich von diesen nur dadurch, daß das abströmende Wasser nicht mehr ersetzt wurde, weshalb der freie Überstauungsspiegel bald im Boden versank und sich ein sinkender Grundwasserspiegel bildete. Besonders deutlich trat hier beim Verschwinden

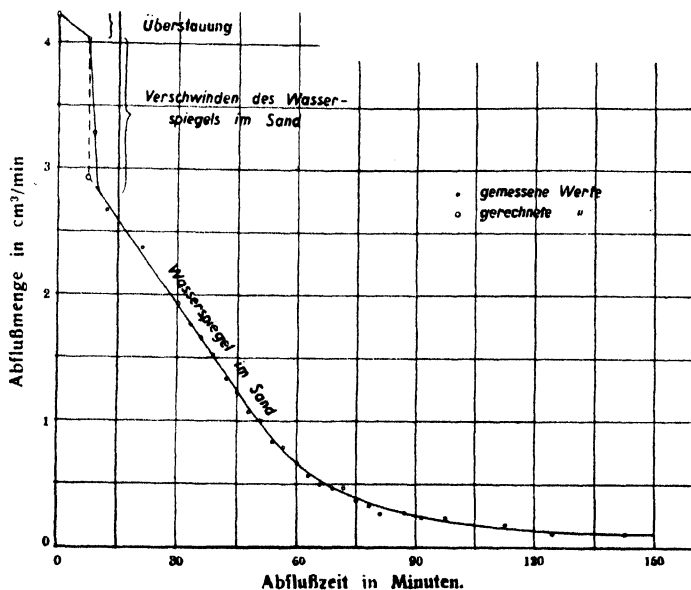


Abb. 5

Wasserabgabe einer Sandsäule (Kristallsand) von 25 mm Durchmesser bei absinkendem Wasserspiegel

des Wasserspiegels ein plötzliches, fast schlagartiges Absinken aller Beobachtungsspiegel in den Glasrohren in Erscheinung. Ebenso plötzlich ging in diesem Augenblick die Ausflußmenge um ein beträchtliches Maß zurück. Abb. 5 gibt die Veränderungen der Ausflußmenge bei einem dieser Versuche. Der plötzliche Rückgang der Ausflußmenge ist auf die unvermittelt auftretende kapillare Rückhaltekraft zurückzuführen, welche die Druckhöhe um etwa  $\frac{5}{4}$  der kapillaren Steighöhe verminderte. Diese Rückhaltewirkung hatte nur anfangs, d. h. solange sich der Grundwasserspiegel schnell senkte, die angegebene Höhe, mit der Verzögerung der Sinkbewegung ging die Rückhaltewirkung auf das Maß der kapillaren Steighöhe zurück.

Die Größe der Rückhaltewirkung ist nach den gemachten Beobachtungen von der Schnelligkeit des Absinkens des Grundwasserspiegels abhängig. Ist diese klein, was in der Natur gewöhnlich der Fall ist, so wird sie praktisch gleich der kapillaren Steighöhe.

Die Rückhaltewirkung konnte sehr gut an der zweitgenannten Versuchseinrichtung beobachtet werden, die auch die Bewegungen des Grundwasserspiegels zu verfolgen erlaubte. Regelmäßig konnte hier beobachtet werden, daß nach dem Durchgang des Grundwasserspiegels durch die Abzweigungsstelle eines Beobachtungsrohres der zugehörige Beobachtungswasserspiegel weiter absank, bis Luft in die Abzweigung eingesaugt wurde, weshalb die an dieser Stelle vorhandene Heberwirkung eine Unterbrechung fand. Der Lufteintritt erfolgte bei raschem Absinken des Grundwassers, wenn Grundwasser und Beobachtungsspiegel um etwa  $H_r = \frac{5}{4} H$  ( $H$  = kapillare Steighöhe) unter dem Abzweigstutzen anlangten. Bei langsamer Absenkung trat ein Abreißen der Heber ein, wenn  $H_r = H$  war. Ohne Zweifel waren im ersten Fall die Bodenporen zu stark mit Wasser gefüllt, als daß ein Abreißen des Hebers möglich gewesen wäre, während das im zweiten Fall wegen der schon stärker erfolgten Entwässerung mit Erreichung der kapillaren Steighöhe geschehen konnte.

Hörte die Absenkung auf, ehe der Grundwasserspiegel die Tiefe  $H$  unter einer Abzweigstelle erreicht hatte, so blieb die Heberwirkung mehrere Tage lang bis zum Abbruch des Versuches bestehen. Hieraus kann geschlossen werden, daß innerhalb des Kapillarsaumes über dem absinkenden Grundwasser in den Poren nur geringe Luftmengen eingeschlossen und keine durchgehenden luftgefüllten Porenschlote vorhanden waren, die zu einem Abreißen des Hebers geführt hätten. Es konnte auch in keinem dieser Fälle ein Übergang von Luft aus dem Kapillarsaum in den Heber beobachtet werden. Trotzdem wäre es unrichtig, hieraus den Schluß zu ziehen, der absinkende Kapillarsaum sei luftfrei. Bei Wiederholung der Versuche mit derselben Rohrfüllung wurde festgestellt, daß das aufsteigende Wasser nicht in der Lage war, alle Luft aus den Bodenporen zu verdrängen. Bei jeder Wiederholung blieben neue Luftmengen im Boden zurück, so daß sich bei jedem Durchfluß- und Absenkversuch wieder größere Durchflußwiderstände infolge Versperrung von Bodenporen durch Luft ergaben.

Ob diese Luftreste nur zwischen der Wandung des Glasrohres und der Bodensäule oder auch innerhalb dieser hängenblieben, wurde nicht untersucht.

Durch Lufteinschlüsse innerhalb des Kapillarsaumes können ohne Zweifel Erscheinungen auftreten, die stark von den oben beschriebenen abweichen. Besonders ist anzunehmen, daß durch sie die Rückhaltewirkung erheblich herabgesetzt werden kann.

Andererseits können auch zu den Kapillarkwirkungen andere rückhaltende Wirkungen treten, besonders Widerstände für das Nachdringen von Luft in den Poren über dem Kapillarsaum.

Eine starke Rückhaltewirkung können auch hängende Wasserschichten von geringer Mächtigkeit ausüben, deren Gewicht nicht ausreicht, um den Benetzungswiderstand zu überwinden. (Vgl. *Oehler*, Beobachtungen über das Verhalten von Wasserfäden beschränkter Länge in Haarröhrchen. Mitt. aus dem Institut für Wasserbau der Technischen Hochschule Berlin Nr. 21.)

### *Versuchsgruppe 3.*

#### *Sickerbewegung im lufthaltigen Boden bei tiefliegendem Grundwasserspiegel.*

Das Versinken des Regenwassers zerfällt in zwei Vorgänge, das Eindringen des Wassers in den Boden und die weitere Sickerbewegung.

Während des ersten Vorganges wirkt nach unten gleichzeitig die Schwerkraft und die Kapillarkraft. Durch dieses Zusammenwirken ist das vielfach sehr schnelle Verschwinden des Wassers im Boden bedingt. Dazu kommt, daß in den oberen Bodenschichten meist zahlreiche verhältnismäßig weite Kanäle sind, welche das Herunterfallen des Wassers und das Entweichen der Luft erleichtern.

Sobald der Wasserspiegel verschwindet, treten auch an der oberen Seite der absinkenden Wasserschicht Kapillarkräfte auf, welche die an der Unterseite wirksamen z. Teil aufheben, so daß im wesentlichen nur noch die Schwerkraft übrigbleibt, weshalb sich die Sinkgeschwindigkeit vermindert. Wie Versuche mit Glasrohren zeigten, ist der Abfall der Geschwindigkeit jedoch nicht so plötzlich wie bei der Absenkung eines Wasserspiegels im wassergefüllten Boden, sondern es tritt eine allmählich fortschreitende Verminderung des Sättigungsgrades innerhalb der absinkenden Wasserschicht ein, deren Mächtigkeit mehr und mehr zunimmt. Ihre obere Begrenzung bildet die Bodenoberfläche, an der Wasser in den feineren Poren hängen bleibt. Von hier aus nimmt der Wassergehalt nach der unteren Grenze der absinkenden Schicht zu. Hier ist eine stark wasserhaltige Zone zu erkennen, deren Mächtigkeit sich mit dem Vorrücken dauernd vergrößert. Sie dient als Wasserlieferer für die durchlaufenen Zonen. Diese unterste Zone scheint nahezu voll gesättigt zu sein. Ist sie aufgezehrt, so geht die Sinkbewegung mit verminderter Geschwindigkeit weiter. Vermutlich ist das der Augenblick, in dem der Inhalt der größeren Porenkanäle erschöpft ist, weshalb die Weiterbewegung nun vorwiegend durch die Kapillarkraft bedingt ist, während die Wirkung der Schwerkraft mehr und mehr zurücktritt. Die Folge des Vorgangs ist eine weitere Verbreiterung der absinkenden Schicht, deren Wassergehalt noch immer abnimmt, bis schließlich die Bewegung aufhört



und eine schwebende Schicht gebildet ist, weil der Wasservorrat nicht weiter in Anspruch genommen werden kann und der Benetzungswiderstand nicht mehr überwunden wird.

Bei einer neuen Beschickung bildet sich in gleicher Weise eine neue Hängewasserschicht, während die erste unter ähnlichen, aber nicht mehr so deutlichen Erscheinungen ebenfalls nach abwärts wandert. Die Abgrenzung dieser Schichten ist, sobald sie zur Ruhe gekommen sind, nach oben und unten sehr undeutlich und schließlich im Glasrohr nicht mehr sichtbar. Ihr Wandern ist stets durch eine lokale Vermehrung des Wassergehaltes bedingt, die stets oben beginnt und wie eine Welle nach unten zieht, bis sie sich wieder nach unten verliert.

Kommt die Welle mit genügender Sättigung in den Bereich des Kapillarsaumes am unteren Ende der Versuchseinrichtung an, so erfolgt Wasserausfluß. Dagegen konnte bisher nicht beobachtet werden, daß eine Wasserabgabe infolge einer Beschickung eintrat, ohne daß solch eine Welle den Kapillarsaum erreichte. Trotzdem liegt es im Bereich der Möglichkeit, daß eine absinkende Wasserschicht die Luft über dem Kapillarsaum zusammendrückt, so einen Druck auf diesen ausübt und eine Wasserabgabe herbeiführt.

Eine große Rolle spielt bei der Versickerung der Widerstand der Bodenluft, die irgendwie dem Wasser den Weg freimachen muß, sei es, daß sie nur zusammengedrückt wird, oder daß sie unter der Einwirkung des Wasserdruckes entweicht. Auch die Temperatur ist hier von größerer Bedeutung als bei der zweiten Versuchsgruppe, insbesondere deshalb, weil sie die Spannung der Bodenluft stark beeinflußt und Spannungsänderungen der eingeschlossenen Luft natürlich von viel stärkerem Einfluß auf die Fließvorgänge sein müssen als Spannungsänderungen einer dem Wasserspiegel überlagerten Bodenluft, die nach der freien Atmosphäre einen leichtern Ausgleich finden. Aus diesen Gründen haben die Versuche über Sickerbewegung im wasserarmen Boden wenig Beziehung zu denen der vorhergehenden beiden Versuchsgruppen, bei welchen die Wasserbewegungen im luftarmen Boden erfolgten. Trotzdem konnten für alle drei Versuchsgruppen die gleichen Einrichtungen verwendet werden. Die Versuche der dritten Gruppe schlossen sich auch zeitlich unmittelbar an die der Gruppe 2 an. Denn wie die Versuche der Gruppe 1 Voraussetzung für die der zweiten Gruppe waren, so sind die Versuche der Gruppe 2 als Vorbereitung für die der Gruppe 3 anzusehen. Sie gaben die Gewähr für möglichst gleichmäßige Versuchsbedingungen.

#### *Versuche mit den Eisenblechkästen.*

Nach Beendigung der Versuche der Gruppe 2 wurden die Böden in den Kästen aus Eisenblech möglichst gleichmäßig mit Wasser beschüttet. Die Beschickungshöhen betrugen 10—100 mm. Hierauf wurde der Grundwasserstand, die Boden- und Lufttemperatur und der Luftdruck fortlaufend gemessen. Besonderer Wert wurde auf die genaue Feststellung der Abflußzeiten und -stärken des mit feinem Sand gefüllten Kastens gelegt.

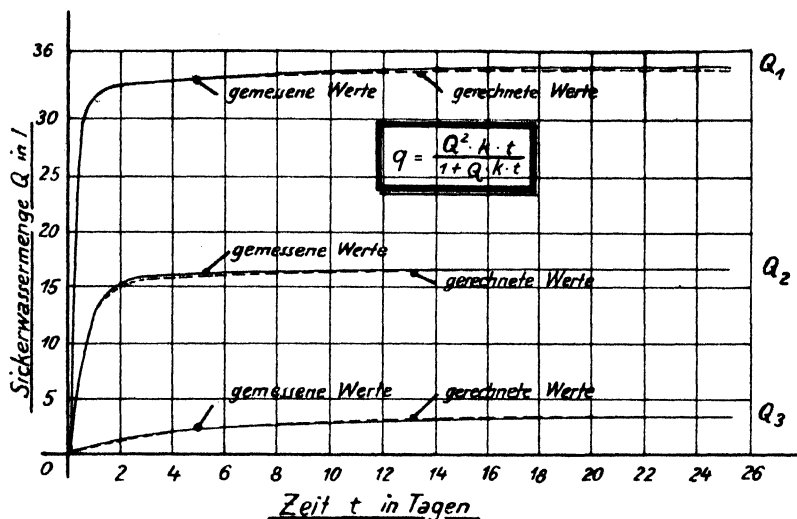


Abb. 6

Sickerwasserabgabe eines Kastens nach Beschickung verschiedener Stärke  
(36 bzw. 18 bzw. 7,2 Liter oder 100, 50 und 20 mm)

Die Abflußkurven (Abb. 6) ergaben eine gute Übereinstimmung mit der Gleichung

$$q = \frac{Q^2 \cdot K \cdot t}{1 + Q \cdot K \cdot t}.$$

Hierbei ist  $q$  die Abflußmenge in  $t$  Tagen,  $K$  ein unbenannter Beiwert, abhängig von Bodenbeschaffenheit, Temperatur und Luftgehalt,  $Q$  = Liter, Konstante meist kleiner als die Beschickungs- und größer als die Abflußmenge.

Der Einfluß der Temperatur machte sich dahin geltend, daß eine Erwärmung des Bodens infolge Verminderung der Zähigkeit und Oberflächenspannung des Wassers stets ein Absinken von Wasser brachte und damit eine Hebung des Grundwassers, die wieder einen stärkeren Ausfluß zur Folge hatte.

Hatte der Auslauf bei kühlerer Temperatur bereits aufgehört, so konnte er durch Erwärmung wieder in Gang kommen.

Abkühlungen hatten stets die entgegengesetzte Wirkung.

Der Zeitpunkt für das Austreten der ersten Tropfen, wie auch für den stärksten Austritt und das Aufhören des Auslaufs war nach den Bodenarten verschieden und von der Beschickungshöhe abhängig.

Im Kristallsand trat bei 100 mm Beschickungshöhe der erste Tropfen nach 56 Minuten, der Höchstausfluß nach 1 Stunde 35 Min. ein, während bei 50 mm Beschickungshöhe 3 bzw. 6 $\frac{1}{3}$  Stunden, bei 20 mm 22 bzw. 28 Stunden nötig wurden und 10 mm Beschickung zu keiner Wasserabgabe führten.

<sup>1)</sup> Die Gleichung ist von Herrn Dipl. Ing. G. Gebhard abgeleitet.

Man kann aus dieser Feststellung schließen, daß eine Beschickung von 10 mm Höhe nicht ausreichte, um durch ihr Gewicht den Benetzungswiderstand zu überwinden, während die größeren Beschickungshöhen hierzu imstande waren. Die Beschickung von 10 mm Höhe wurde deshalb in Form von Hängewasser vollständig gespeichert. Bei einem Porenraum des Sandes von 37,6% ergibt eine Beschickung von 10 mm eine mittlere Mächtigkeit der vollständig durchnässten Sandschicht von rund 27 mm.

Auf Grund meiner Versuche mit Kapillarröhren aus Glas ist die Möglichkeit, daß sich Hängewasserschichten von dieser Mächtigkeit bilden können, ohne weiteres zu bejahen, insbesondere wenn man annimmt, daß die Schicht durch Lufteinschlüsse unterbrochen war, so daß ein mehrfacher Benetzungswiderstand zu überwinden war.

Es waren die Beschickungshöhen	100,0	50,0	20,0	10 mm
und die Abflußhöhen . . . . .	95,4	46,0	15,1	0 mm
Hängewasser . . . . .	4,6	4,0	4,9	10 mm

Die Hängewassermengen waren also in den ersten drei Fällen ziemlich gleich. Auch dies ist aus den Versuchen mit Kapillarröhren erklärlich. Die Bewegungsgeschwindigkeiten waren zwar, wie weiter unten gezeigt werden soll, sehr verschieden, aber doch so gering, daß keine sehr großen, aber annähernd die gleichen Wassermengen an den Wandungen der Kapillaren hängen bleiben konnten. Andere Versuche haben gezeigt, daß auch größere Wassermengen zurückgehalten werden können.

Bemerkenswert ist, daß diese Wassermenge bei mehreren aufeinanderfolgenden Versuchen zurückgehalten wurde, eine Erscheinung, die leicht verständlich ist, wenn man beachtet, daß das bei den einzelnen Versuchen austretende Wasser in keinem Fall das bei der entsprechenden Beschickung aufgebrachte war. Sondern es ließ sich durch Färbung nachweisen, daß auch eine Beschickungsmenge von 100 mm vollständig gespeichert, jedoch durch sie Wasser aus dem Vorrat verdrängt wurde. Sehr anschaulich ließ sich der Vorgang in Parallelversuchen mit Glasrohren zeigen. Das jedesmal aufgebrachte Wasser durchlief also immer nur einen Teil der gesamten Strecke zwischen Bodenoberfläche und Auslauf, und auf dieser Teilstrecke blieben jedesmal 4—5 mm Wassersäule hängen.

Für die Menge des versinkenden Wassers ist es somit nicht belanglos, ob der Regen in wenigen starken oder in einer größeren Anzahl von schwachen Einzelgaben fällt. Letzteres ist für die Speicherung wesentlich vorteilhafter. Die Ergebnisse erklären auch, warum ein schwacher Regen mitunter länger vorhält als ein stärkerer, denn der schwächere wird u. a. ganz gespeichert, während der stärkere zu schnell absinkt und dabei nur geringe Mengen Hängewasser zurückläßt.

Ja es ist denkbar, daß ein Regen, besonders ein starker, größere Mengen Hängewasser in Bewegung bringt und selbst wenig Wasser

zurückläßt, so daß er im Grund die Bodenwassermengen innerhalb des Wurzelbereichs verschlechtert.

Die Verschiedenheit der verwendeten Böden machte sich schon bei der Aufbringung des Wassers geltend, indem dieses vom Niedermoor mit größter Schnelligkeit aufgenommen wurde, während der Sandboden wesentlich mehr Zeit brauchte und sich über dem Hochmoorboden Lachen bildeten, die einige Minuten zum Versickern nötig hatten.

Bei einem Vergleichsversuch mit 20 mm Beschickungshöhe ergaben sich folgende Werte:

	Sand	Hochmoor	Niedermoor
Austritt			
des ersten Tropfens nach . . . . .	102 h	>8< 22 h	5½ h
Höchstabfluß nach . . . . .	151 h	53 h	10 h
Abflußhöhe in 50 Tagen. . . . .	10,7 mm	17,1 mm	15,8 mm
Gesamtabfluß. . . . .	11,7 mm	17,1 mm	15,8 mm
Aufhören des Wasserlaufes nach	70 Tagen	52 Tagen	52 Tagen

Der Versuch, der nach längerem Trockenstehen der Eisenblechkästen vorgenommen wurde, zeigt das verschiedene Verhalten der drei Bodenarten, insbesondere die schnelle und starke Wasserabgabe der Moorböden. Diese war durch die große Speicherwirkung der Moorböden bedingt, welche den größten Teil der Poren vollhielt, weshalb bei weiterem Wasserzutritt nicht nur eine verhältnismäßig schnelle, sondern auch eine viel stärkere Wasserabgabe erfolgte als im Sand. Wasserwirtschaftlich zeigte sich der feine Sand viel vorteilhafter, indem er das aufgenommene Wasser viel langsamer abgab.

Der Zusammenhang von Bodentemperatur und Wasserstand in den Behältern konnte am besten nach dem Aufhören der Wasserabgabe untersucht werden. Jeder Temperaturrückgang verursachte eine Absenkung der Wasserspiegel, während eine Temperatursteigerung eine Spiegelhebung zur Folge hatte. Es entsprachen jedoch nur ausnahmsweise gleichen Temperaturen auch gleiche Wasserstände. Meist zeigte sich bei dem Auf und Ab der Temperaturen eine absteigende Tendenz der Wasserspiegel. Da eine Verdunstung durch Abdecken der Behälter praktisch verhindert und durch aufgestellte Verdunstungsgefäße auch der Nachweis erbracht wurde, daß die Verdunstung viel zu klein war, um die beobachteten Grundwasserabsenkungen zu erklären, muß angenommen werden, daß andere Ursachen die Spiegelabsenkung verursacht haben. Vermutlich ist diese Erscheinung so zu erklären:

Infolge einer Abkühlung steigerte sich die Oberflächenspannung des Wassers, weshalb es kapillar in größere Höhe stieg, dabei erreichte es auch feine, bereits entleerte Bodenporen, die sich füllten, aber bei

einer Temperaturerhöhung und Verminderung der Saugkraft nicht mehr abgaben. Es floß also nur das Wasser aus den größeren Poren zurück, und so kam eine Spiegelerhöhung zustande, die nicht an die frühere heranreichte.

Bis zur nächsten Abkühlung hatte das so vom Boden zurückgehaltene Wasser Zeit, auch in andere, noch feinere Kanäle einzudringen, so daß wieder Räume zur Aufnahme von kapillar ansteigendem Wasser frei wurden.

So war es wohl möglich, daß mehrere aufeinanderfolgende Temperaturschwankungen in kleinem Umfang ein Hochpumpen von Grundwasser mit sich brachten.

In manchen Fällen zeigten sich bei niedrigen Temperaturen unerwartet geringe Absenkungen. Es ist anzunehmen, daß in diesen Fällen die Porenräume bereits stark mit Wasser belastet waren, weshalb sie nicht mehr viel aufnehmen konnten. Vielleicht war auch in den Poren eingeschlossene Luft die Ursache der geringen Wasseraufnahme.

Über die Zusammenhänge der Spiegelabsenkungen in den Beobachtungsrohren mit den Temperaturänderungen seien folgende Zahlen mitgeteilt:

Bei einer Temperaturerniedrigung um  $1^{\circ}$  wurde im feinen Sand eine Spiegelabsenkung von 0,44 cm, im Hochmoor von 1,0 cm und im Niederungsmoor von 2,2 bis 3,1 cm im Durchschnitt mehrwöchiger Beobachtungen mit mehrmaligen Schwankungen festgestellt. Einzelne Temperaturschwankungen brachten teils wesentlich größere, teils kleinere Spiegelschwankungen hervor.

Die relativ größte Spiegelabsenkung von 2 cm brachte im Hochmoor eine Temperaturerniedrigung um nur  $0,3^{\circ}$  im Laufe eines Tages. Im Niederungsmoor wurde durch einen Temperaturrückgang von  $1,0^{\circ}$  eine Spiegelschwankung von 5,5 cm in zwei Tagen beobachtet und bei  $0,3^{\circ}$  eine Senkung von 4,0 cm in einem Tage. Bei all diesen Beobachtungen war der Luftdruck fast unverändert. Die Temperaturschwankungen waren durch die Heizung des Versuchsraumes bedingt.

Diese Beobachtungen können quantitativ nicht ohne weiteres auf natürliche Verhältnisse übertragen werden. Hier vollziehen sich die Wärmeschwankungen, die nur von der Bodenoberfläche ausgehen, weniger schnell, auch ist die Wärmeverteilung anders, weshalb in der Natur auch kleinere, durch örtliche Erwärmung bedingte Grundwasserschwankeungen wahrscheinlich sind.

Die Temperaturänderungen machten sich im Sand viel schneller und stärker geltend als in den Moorböden, doch führten im Sand die Temperaturerhöhungen häufig zu Wasseraustritten, weshalb die Feststellung ihres Einflusses auf die Spiegellagen nicht ohne weiteres möglich war.

Die Zusammenhänge von Luftdruckänderungen und Spiegelagen waren weniger leicht nachweisbar, da sich Luftdruckänderungen nicht künstlich herbeiführen ließen und ihr Einfluß durch mehr oder weniger starke Temperatureinflüsse überdeckt war. Ein Bild von dem Einfluß der Luftdruckschwankungen gibt die Darstellung der Abflußverhältnisse bei einem Versuch mit Kristallsand mit einer Beschickungshöhe von 20 mm. (Abb. 7.) Besonders deutlich ist die Vermehrung

des Abflusses (Summenlinie) zwischen dem 8. und 14. Beobachtungstag bei starkem Abfall des Luftdrucks. Die Wasserstandslinie erfuhr erst vom 13. Tage an eine Absenkung, als der Luftdruck wieder zu steigen begann.

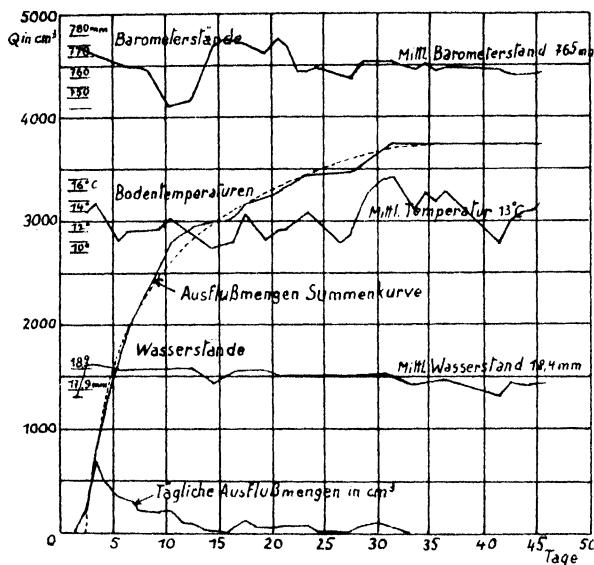


Abb. 7

Ausflußverhältnisse bei einem Versuch mit Kristallsand. Beschickungshöhe 20 mm = 7,2 Liter. (Versuchseinrichtung: Eisenblechkasten)

me des von oben kommenden, durch Erwärmung in Bewegung gebrachten Wassers durch tieferliegende Schichten ermöglicht.

Die Temperaturwirkungen kamen stets im Sandboden, der die Wärme besser leitet, am schnellsten zur Geltung und verursachten dort auch die größten Temperaturänderungen. Doch waren die hierdurch hervorgerufenen

Schwankungen der Wasserstände in den Moorböden stärker als im Sand. Es ist dies auf die viel stärkere Füllung der Poren mit Wasser in den Moorböden zurückzuführen, die eine Aufnahme

### Über den Einfluß der Bodenluft auf die Versickerung.

Um den Einfluß der Bodenluft auf die Versickerung kennenzulernen, wurden zwei möglichst gleiche und in gleicher Weise mit demselben Boden gefüllte Glasrohre mit gleichen Wassermengen beschüttet. Eines der Rohre (XVII) wurde in ein weiteres, unten in eine Flasche eingeschliffenes und oben an eine Quecksilberpumpe angeschlossenes Glasrohr gestellt. Ein am oberen Ende des Rohres angebrachter Gefäßtrichter erlaubte, solange Unterdruck im Rohre herrschte, die Zuführung von Beschickungswasser. (Abb. 8.)

Vor der Beschickung wurde mittels der Pumpe ein Unterdruck von 50 cm Quecksilbersäule hergestellt und über eine Nacht gehalten. Hierauf erfolgte die Einführung des Beschickungswassers durch den Trichter. Der anfängliche Unterdruck konnte wegen kleiner Undichtheiten nicht ganz gehalten werden. Er sank im Lauf einer Nacht auf etwa 40 cm. Morgens wurde wieder bis auf 50 cm gepumpt.

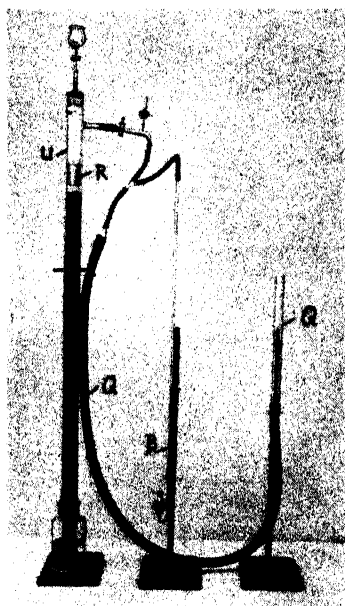


Abb. 8. Versuchseinrichtung für Versickerung und kapillaren Anstieg bei Unterdruck. U = Unterdruckrohr; Q = Quecksilberpumpe; B = Barometer; R = Rohr mit Boden gefüllt

Die Beschickung beider Rohre geschah gleichzeitig und mit gleichen Wassermengen. Das Wasser war durch Abkochen entlüftet. In beiden Fällen war der Zulauf schneller als die Wasseraufnahme, weshalb der Boden bis zu 2,5 cm überstaut wurde.

Während 27 Tagen wurde täglich das Absinken der Feuchtigkeitsgrenze beobachtet. Gleich anfangs machte sich ein stärkeres Vorrücken im Rohr XVIII bemerkbar, auch verwischte sich bald die Grenze in dem anderen, also im Unterdruck arbeitenden Boden. Die Längen der durchfeuchteten Säulenstücke verhielten sich wie 1 (R. XVII) zu 1,04 bis 1,07 (R. XVIII).

Bei der Untersuchung des Wassergehaltes der einzelnen Abschnitte, die in gleicher Weise ausgeführt wurde, wie bei den Versuchen über «Wasserverteilung im Kapillarsaum», ergaben sich die in der folgenden Tafel mitgeteilten Werte.

Abschnitt cm	Wassergehalt in g		Verhältniszahl 1 :
	R. XVIII	R. XVII	
0—5	9,5	9,5	1
5—10	12	14	1,17
10—15	9	13	1,45
15—20	11,5	12	1,04
20—25	10	12	1,2
25—30	13	13,5	1,04
30—35	12,5	13,0	1,04
35—40	10,5	12,5	1,19
40—45	12	12	1,0
45—50	11	11	1,0
50—55	11,5	11	1,05
55—60	11	12	0,92
60—65	13	10,5	1,24

Unter Annahme eines Stoffgewichtes von 2,65 erhält man für die Bodensäulen einen Porenraum von 57,5 (R. XVII) und 59,0 v H und damit eine Füllung von 49,3 bzw. 44,8 v H des Porenraumes.

Durch die Entlüftung wurden somit 4,5 v H des Porenraumes dem Sickerwasser zugänglich gemacht.

Aus dem langsameren Fortschritt der Feuchtigkeitsgrenze im entlüfteten Boden kann man schließen, daß die durch die Entlüftung zur Wasseraufnahme befähigten Poren vorwiegend Wassersammler, aber in nicht nennenswertem Maße Wasserleiter waren. Sie haben Wasser festgehalten (verbraucht) und dadurch den Fortschritt der Feuchtigkeitsgrenze verzögert.

Die Versuche werden nach Vervollkommnung der Einrichtung fortgesetzt und auf verschiedenartige Böden ausgedehnt.



## 9. Versuche über die Wasserverteilung im Kapillarsaum

Von

Prof. Dr. Ing. Th. Oehler, Ankara, Türkei.

Die im folgenden mitgeteilten Versuchsergebnisse beziehen sich durchweg auf Böden in künstlicher Lagerung. Die Versuche sind noch nicht abgeschlossen, sondern es ist damit zu rechnen, daß sie noch lange Zeit in Anspruch nehmen werden. Trotzdem sollen einige Ergebnisse schon jetzt mitgeteilt werden, da sich schon einige bemerkenswerte Folgerungen ziehen lassen. Die Erweiterung der Untersuchungen auf gewachsenen Boden ist in die Wege geleitet. Auf eine mathematische Auswertung der Versuchsergebnisse ist vorläufig verzichtet worden. Doch wurden auf empirischem Wege Gleichungen gefunden, die gute Annäherungen innerhalb gewisser Grenzen geben. Besondere Aufmerksamkeit wurde der Frage des Luftgehaltes im Kapillarsaum und dessen Einfluß auf die Wasseraufnahme gewidmet.

Alle Versuche wurden mit lufttrockenem Boden begonnen. Da sich der kapillare Anstieg in erdfeuchtem Boden wegen des geringeren oder fehlenden Benetzungswiderstandes wesentlich schneller vollzieht, können die Versuchsergebnisse nicht auf diesen Zustand des Bodens bezogen werden.

### *Versuche von Krüger.*

Seine Versuche bestanden, soweit sie hier von Interesse sind, darin, daß je zehn Glasrohre von 20 mm Lichtweite auf 5, 10, 15 bis 50 cm Länge mit verschiedenen Bodenmischungen gefüllt 1 cm tief in Wasser gestellt wurden. Es wurde die Steighöhe und Gewichtszunahme ermittelt und die Beobachtung solange fortgesetzt, bis keine Veränderungen mehr wahrgenommen werden konnten. Zur Kontrolle wurden außerdem aus dem obersten Teil der Bodenfüllung 5–10 g schwere Proben entnommen und aus ihnen ebenfalls der Wassergehalt berechnet. Die Ergebnisse der Versuche sind in Zahlentafeln über Raumgewicht der trockenen Füllung, Porenraum, Wasserkapazität und Wassergehalt in  $v_{II}$  der ganzen Bodensäule mitgeteilt.

Bei den Versuchen von *Krüger* war meist die kapillare Steighöhe des verwendeten Bodens wesentlich größer als die Länge der Bodensäule, während bei den Versuchen des Vortragenden die Bodensäule länger als die kapillare Steighöhe war. In einigen Fällen war die Bodensäule bei *Krüger* zwar länger als die beobachtete Steighöhe, die von ihm angegebenen Beobachtungszeiten erscheinen jedoch z. T. zu kurz, weshalb anzunehmen ist, daß sich bei längerer Beobachtungszeit etwas andere Werte ergeben hätten. Ein Vergleich dieser Versuche mit denen des Verfassers ist deshalb nicht ohne weiteres zu-

lässig. Trotzdem sollen sie hier berücksichtigt werden, da sie in derselben Richtung gehen und erlauben, ähnliche Folgerungen zu ziehen.

Die von *Krüger* verwendeten Böden waren natürliche und künstliche Kornmischungen der aus Tafel 1 ersichtlichen Zusammensetzung.

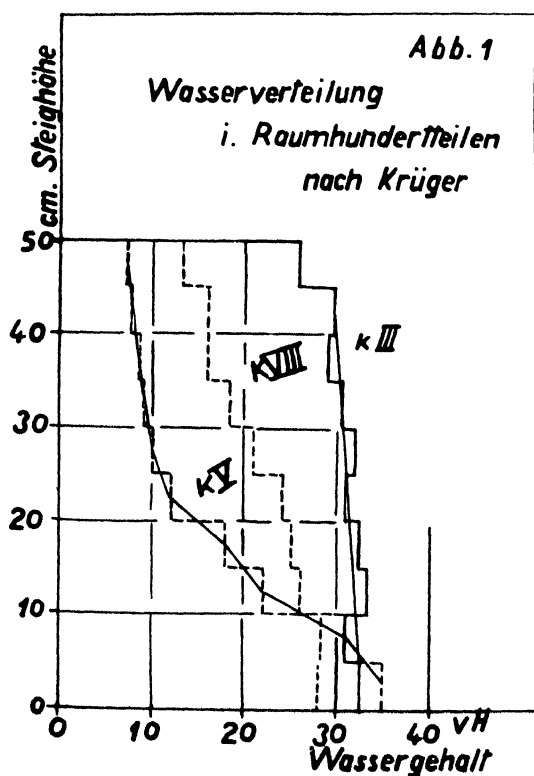
Rohr	K III	K V	K VIII
Korngr. mm	Gewichts-%	Gewichts-%	Gewichts-%
< 0,01	0,4	0,2	8,35
0,01—0,05	0,2	0,1	0,10
0,05—0,1	19,7	0,2	3,43
0,1—0,2	68,8	3,2	13,81
0,2—0,5	9,9	6,8	11,25
0,5—1,0	0,8	27,5	20,75
1,0—2,0	0,2	12,0	9,81
Mittlerer Porenraum . . . . .	39%	32,1%	30,6%
Mittleres Raumgew. g/cm <sup>3</sup> . .	1,62	1,79	1,80

*Krüger* empfiehlt, den Wassergehalt von je 5 cm langen Säulenabschnitten aus dem Unterschied der Wasseraufnahme zweier um

5 cm verschieden langer Bodensäulen zu berechnen. Wenn auch dieses Verfahren nicht voll befriedigt, so wurde es für die Berechnungen zu Abb. 1 doch angewandt, da auf Grund der Versuchsanstellung diese Auswertungsweise gegeben ist.

Die Darstellungen der Abb. 1 lassen deutlich eine Abnahme des Wassergehaltes mit der Höhenlage der Abschnitte über dem Grundwasser erkennen. Die Abnahme ist um so stärker, je größer das Bodenkorn ist.

Die von *Krüger* angegebenen kapillaren Steighöhen sind für Versuchsreihe K III 50 cm, K VIII 36 cm und K V 16 cm. Bis



zu diesen Höhen verläuft die Linie der mittleren Feuchtigkeit der Abschnitte ziemlich gerade. Über der Grenze des kapillaren Anstiegs nimmt bei K VIII und K V die Linie steilere Richtung an. Sie verzeichnet da auch noch beträchtliche Feuchtigkeitsgrade, wofür die Darlegungen von *Krüger* keine Begründung bringen.

## DIE EIGENEN VERSUCHE.

### Versuchsanstellung.

Für diese Versuche fanden Glasrohre von etwa 1,50 m Länge und von etwas über 3 cm Lichtweite Verwendung.

In den Rohren wurden teils Naturböden, teils durch Siebe in ihrer Zusammensetzung beeinflusste Kiessande leicht eingerüttelt.

Die Zusammensetzung der Rohrfüllungen ist aus Tafel 2 ersichtlich.

Boden	I	II	III	IV
Rohr	II-V	XIII-XVI XIX-XX	XII	XXI-XXII
Korngr. mm <sup>1)</sup>				
I <0,002 . . .	14,40	23,30	—	—
II 0,002—0,02	18,00	25,50	—	—
III 0,02 —0,05	7,20	11,00	—	—
IV 0,05 —0,10	6,00	5,00	—	—
V 0,10 —0,25	34,00	13,70	1,2 <sup>2)</sup>	1,0 <sup>2)</sup>
VI 0,25 —0,50	14,20	6,00	22,9	20,7
VII 0,50 —1,00	5,00	7,00	51,7	49,4
VIII 1 —2 .	1,20	8,50	23,4	24,5
> 2 . . . . .	0	—	0,8	4,4
Ca CO <sub>3</sub> . . . . .	16,15	4,84	—	—
pH	7,2	7,2	—	—

Tafel 2

In den Rohren VI—VIII und X—XI befand sich Flußkies und Sand, der nur in roher Weise durch Siebe in Korngruppen geteilt wurde. Es war in:

	Rohr VI	VII u. X	VIII u. XI
Korngr.	1—2 mm	1—0,5 mm	0,5—0,1 mm

Die Glasrohre wurden am unteren Ende mit feinem Drahtgewebe zugebunden und auf 2 cm Höhe mit grobem Flußsand gefüllt. Hierauf wurden sie 2 cm tief in Wasser getaucht und dann gewogen, so daß man das Gewicht des Rohres mit dem Kiesfilter und dem in diesem hängenden Wasser erhielt. Nach erfolgter Füllung mit dem Versuchs-

<sup>1)</sup> Die Bodenanalysen sind von dem Institut für Bodenkunde (Dozent Dr. Kerim Oemer Çağlos) der Landwirtschaftlichen Hochschule Ankara ausgeführt.

<sup>2)</sup> Korngröße 0,25 mm.

boden und erneuter Wägung wurden die Rohre 3 cm tief in Wasser auf eine grobe Kiesunterlage gestellt und dann in Zeitabständen von anfänglich 1—5 Minuten, die sich schließlich bis zu 7 Tagen verlängerten, die Steighöhe und die Gewichtszunahme bestimmt.

Aus einzelnen Rohren wurde nach teils kürzerer, teils längerer Beobachtungsdauer der Boden in Abschnitten von 5 und 10 cm Länge herausgeholt, und durch Trocknen und Wägen der Wassergehalt ermittelt.

Da der Boden vor der Einfüllung lufttrocken war, genügte auch nach der Entnahme eine Trocknung an der Luft.

In Ermangelung eines Trockenofens konnte der Feuchtigkeitsgehalt bei Lufttrockenheit nicht untersucht werden. Es ist jedoch anzunehmen, daß er wegen der großen Trockenheit der Luft in Ankara verhältnismäßig gering ist.

Mit Rücksicht auf die z. T. sehr dünnwandigen Glasrohre wurde der Boden meist nur leicht eingerüttelt. Der Porenraum war deshalb verhältnismäßig groß und wesentlich größer als im Naturzustand und als bei *Krüger*. In einigen Fällen war es möglich, eine dichtere Lagerung zu erzielen. Unter Voraussetzung eines Einheitsgewichts der Bodenkörner von 2,65 betrug der Hohlraum der Boden-Luftmischungen:

Rohr	II	III	IV	V	VI	Vla	VII
Hohlraum %	51,4	52,1	45,2	48,8	41,2	40,1	44,5
Rohr	VIII	X	XI	XII	XIII	XIV	XV
Hohlraum %	47,1	47,1	50,4	44,1	55,8	54,9	57,1
Rohr	XVI	XIX	XIXa	XX	XXI	XXII	
Hohlraum %	54,4	54,0	43,9	58,4	37,0	47,4	

Zur Prüfung der Frage, ob die kurze Unterbrechung der Wasseraufnahme durch das Herausnehmen der Rohre aus dem Fußbad von schädlichem Einfluß auf die Wasseraufnahme ist, seien die Anstiegsgeschwindigkeiten der mit Boden II gefüllten Rohre mit dem Rohr XXIII verglichen, bei welchem der Anstieg nicht unterbrochen wurde (Tafel 3).

Rohr	Porenraum %	Anstieg in		
		3 Tagen	7 Tagen	14 Tagen
XXIII . . . . .	52,75	26,5	39,8	49
XX . . . . .	58,4	33,3	45,0	56,5
XVI . . . . .	54,4	32,3	40,5	51
XIV . . . . .	54,9	29,8	40,0	53
XIII . . . . .	55,8	48,1	52,3	63,9

Tafel 3

Der Vergleich zeigt, daß Rohr XXIII eine etwas geringere Anstiegsgeschwindigkeit hatte, als die anderen. Der Unterschied kann durch die etwas dichtere Lagerung erklärt werden. Ein Anlaß, die mehrmalige kurze Unterbrechung des Anstiegs durch die Wägungen als störend anzunehmen, besteht nicht.

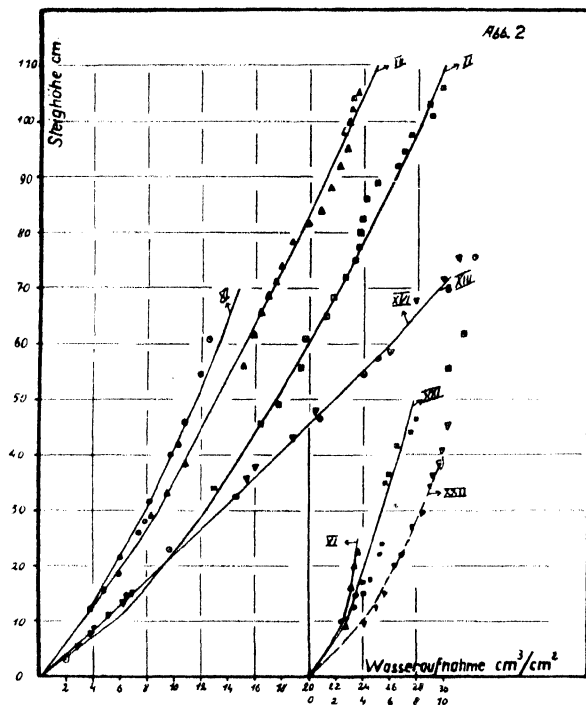
## V Versuchsergebnisse.

### I. Steighöhe und Wasseraufnahme.

Die Abb. 2 gibt die Beziehung von Steighöhe und Wasseraufnahme für einige Versuche in Form von Summenlinien. Die zu jeder Steighöhe (Ordinate) gehörige Abszisse gibt die auf die Einheit von

1 cm<sup>3</sup> Bodensäule entfallende gesamte aufgenommene Wassermenge in cm<sup>3</sup>.

Die Schaulinien verlaufen für grobkörnige Böden steiler als für feinkörnige, auch ist die Krümmung um so stärker, je größer das Korn ist. Der feinkörnige Boden hat eine sehr gestreckte, fast gerade Linie ergeben, und es ist zu erwarten, daß diese bei schwererem Boden durch eine Gerade als ausreichende Annäherung ersetzt werden kann.



Von großem Einfluß auf die Gestalt der Linie und deren Neigung ist die Lagerungsdichte. Dies zeigt besonders ein Vergleich der Linie XXI mit XXII, die für denselben Boden, jedoch bei sehr verschieden dichter Lagerung gelten; der lockerer gelagerte Boden (mehr Porenraum) hat eine viel flachere Linie.

Die eingezeichneten Linien entsprechen einer Gleichung von der Form:

$$Q = \mu \cdot h^n, \quad . . . . . (1)$$

in welcher  $h$  die jeweilig erreichte Steighöhe bedeutet und  $n$  Werte, in welchen die Bodeneigenschaften zum Ausdruck kommen.  $n$  ist stets ein echter Bruch bzw. im äußersten Fall  $= 1$ . Es ist bei Auftragung der Meßpunkte im logarithmischen System die Tangente des Neigungswinkels der Geraden, welche die Schaulinien darstellt. Ist  $n = 1$  und  $\mu$  konstant, so gibt die Gleichung eine Gerade und man erhält für die Gleichung 1 die einfache Form

$$Q = \mu \cdot h = p_w \cdot h \quad . \quad . \quad . (1a)$$

In dieser Gleichung ist  $p_w$  der mit Kapillarwasser gefüllte Porenraum. Wie Abb. 3 zeigt, war bei allen Versuchen der mit Kapillarwasser gefüllte Raum wesentlich kleiner als der Porenraum der Boden-Luftmischung.

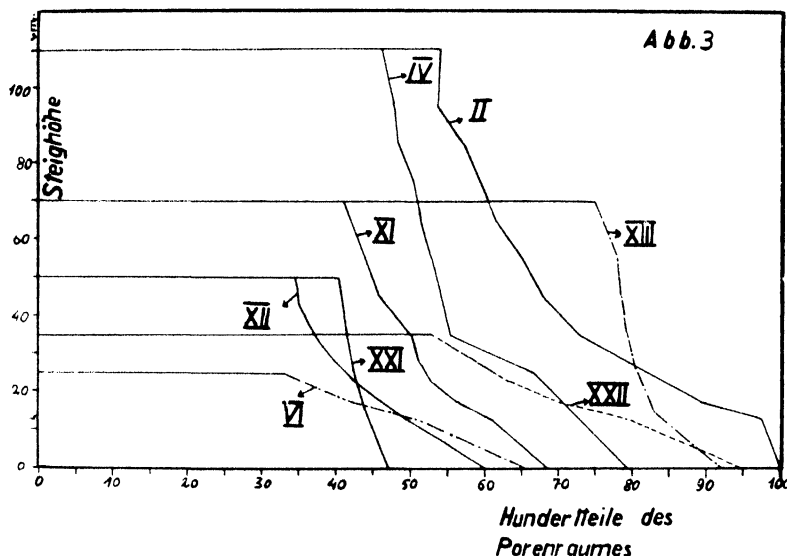
Ist  $p$  der gesamte Porenraum, so kann man setzen

$$p_w = \nu \cdot p,$$

und wird

$$Q = \nu \cdot p \cdot h. \quad (1b)$$

Die Auftragungen in Abb. 3 zeigen, daß  $\nu$  mit der Steighöhe abnimmt, also eine Funktion von  $h$  ist.



$\nu$  ist aber auch abhängig von den Bodeneigenschaften, der Korngröße (Spez. Oberfläche) und der Lagerungsdichte (Porenraum). Die feinkörnigen Böden (Versuch XIII, IV, II und XI) haben steilere Schaulinien als die grobkörnigen (Versuch VI, XXII und XII), doch ist die Lagerungsdichte auch von starkem Einfluß. Die Linie XXI hat ein Verhalten, das völlig von der Linie XXII (für gleichen aber lockerer gelagerten Boden) abweicht. Boden XXI unterscheidet sich hier aber auch deutlich von den feinkörnigen Böden. Die Linie verläuft noch steiler und der Abschnitt auf der Abszissenachse ist wesentlich kleiner, d. h. der Porenraum ist hier verhältnismäßig wenig gefüllt, der Füllungsgrad ändert sich mit der Steighöhe weniger als bei den anderen Böden.

Die meisten Linien verlaufen in ihrem oberen Teil steiler als unten. Dieser obere Teil kann mit guter Annäherung durch eine Gerade ersetzt werden, was gleichbedeutend mit einer Nichtberücksichtigung der Verhältnisse im unteren, 20—40 cm mächtigen Teil des Kapillarsaumes bei den schweren Böden ist (Abb. 6).

Für die Klärung der Frage der Wasserversorgung der Pflanzen aus dem Kapillarsaum sind aber diese Teile des Kapillarsaumes weniger wichtig, da es ohne weiteres klar ist, daß sie durch ihren Wasserreichtum befähigt sind, den größten Bedarf zu decken (vergl. Abschnitt II und VI). Die Schaulinien VI und XII für Böden mit geringen Steighöhen verlaufen in ihrer ganzen Länge annähernd geradlinig, weshalb hier die Verhältnisse von vornherein einfach liegen.

Ist  $x$  der Abschnitt der Geraden auf der X-Achse und der Neigungswinkel  $\delta$ , so lautet ihre Gleichung:

$$v = x - h \cdot \cotg \delta.$$

Die Werte  $x$  und  $\cotg \delta$  sind für einige Versuche in der Tafel 4 zusammengestellt.

Die Versuche sind nach der Feinheit des Bodenkorns geordnet. Es zeigt sich, daß die  $x$  Werte stets größer als der Porenraum sind und im ganzen mit diesem wachsen, doch ist noch keine feste Beziehung zwischen den beiden Werten zu erkennen. Ebenso sind die Neigungswinkel sehr wechselnd. Doch läßt sich feststellen, daß den feinkörnigen Böden ein kleiner Cotangens-Wert entspricht (Versuch XI, IV, II, XIII), doch macht wieder der dichtgelagerte, grobkörnige Boden (Versuch XXI) eine Ausnahme. Man erkennt auch hier wieder den sehr starken Einfluß der Lagerungsdichte auf den Füllungsgrad der Poren bzw. auf die Wasseraufnahme.

Versuch Nr.	Porenraum p %	Spezifische Oberfläche U	x	$\frac{x}{p}$	$\cotg \delta$
VI	41,2	0,7	65	1,57	0,66
XII	43,2	1,5	60	1,39	0,40
XXI	37,0	1,5	46	1,24	0,06
XXII	47,4	1,5	81	1,71	0,56
XI	46,8	3,3	60	1,28	0,14
IV	48,7	207,3	62	1,27	0,14
II	51,4	207,3	79	1,54	0,13
XIII	55,8	285,3	86	1,54	0,08

Tafel 4

In den Abbildungen 4 und 5 sind die Ergebnisse veranschaulicht. Die Abszissen geben den durch Wägung der ganzen Bodensäule ermittelten *durchschnittlichen* Wassergehalt der kapillar angefeuchteten Bodensäule.

Der Luftgehalt ist im feinkörnigen Boden (XIII) am kleinsten, der Wassergehalt im Durchschnitt am größten. Dagegen hat das grösste Korn in der Gruppe der feinkörnigen Böden (XI) den größten Luft- und kleinsten Wassergehalt. Ähnliches gilt auch für die grobkörnigen Böden, doch fällt auch hier wieder der dichtgelagerte Boden in Rohr XXI durch sein besonderes Verhalten (verhältnismäßig großer Luft- und kleiner Wassergehalt und geringe Änderung des Vertei-

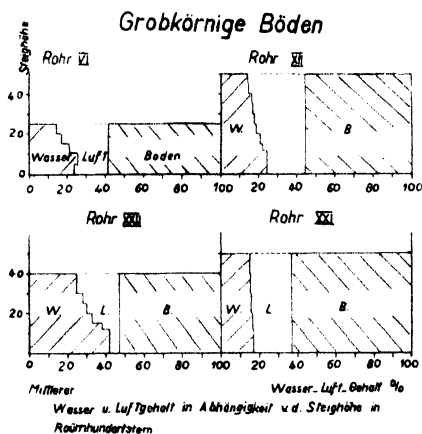


Abb. 4

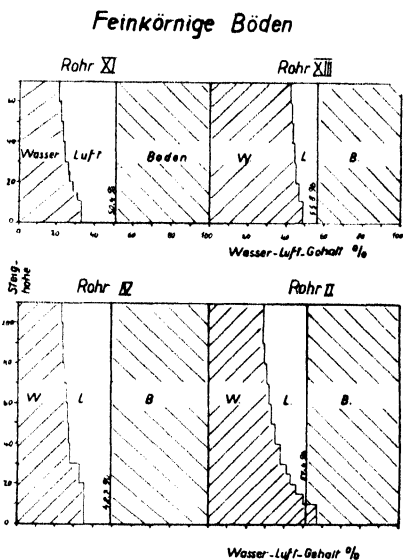


Abb. 5

lungsverhältnisses) auf. Bemerkenswert ist auch die größere, in gleicher Zeit erreichte Steighöhe gegenüber XXII.

In Abb. 6 ist der Wassergehalt in Hundertsteln des Porenraumes dargestellt, wodurch der Vergleich der verschiedenen Bodensäulen

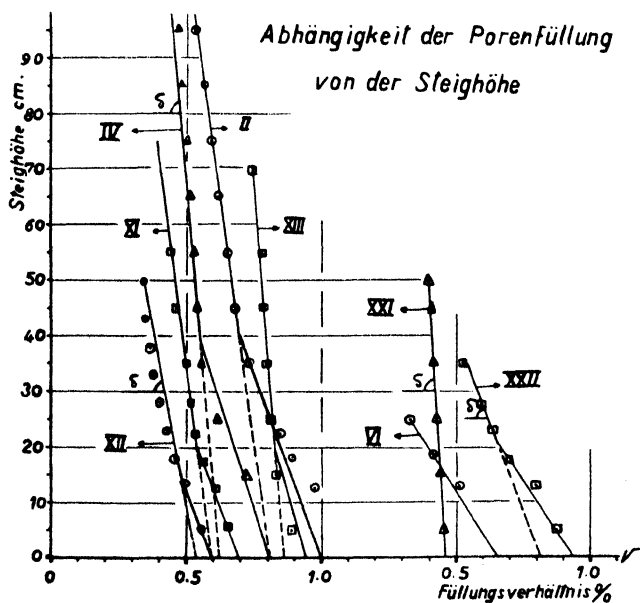


Abb. 6



erleichtert wird. Es sind hier die feinkörnigen Böden durch steile Linien und durchschnittlich große Durchschnittswerte ausgezeichnet, die gröberen durch flache Linien und teilweise kleinere Durchschnittswerte. XXI hat kleine Durchschnittswerte und steile Linie und erinnert teils an die eine, teils an die andere Gruppe.

## II. Die Wasser- und Luftverteilung innerhalb der Bodensäule.

Während die bisher behandelten Messungen und Wägungen nur Auskunft gaben über die durchschnittlichen Feuchtigkeitsverhältnisse innerhalb der vom Kapillarwasser berührten Bodensäule, gewähren die weiteren Untersuchungen unmittelbar Einblick in die Füllungsverhältnisse der einzelnen Abschnitte und damit in die Wasserverteilung.

Der Wassergehalt der Abschnitte wurde, wie in dem Abschnitt «Versuchsanstellung» beschrieben, aus dem Gewichtsunterschied in nassem und trockenem Zustand bestimmt.

In der Abb. 7 sind die so gefundenen Verhältnisse dargestellt. Die Abszissen geben hier den Wassergehalt der einzelnen Abschnitte

in Raumhundertsteln. Links sind zwei Beispiele für vollständig oder annähernd vollständig entwickelten Kapillarsaum gegeben. Auch

ist ähnlich wie bei den Versuchen von Krüger (Abb. 1) eine ziemlich gleichmäßige Abnahme des Wassergehaltes von unten nach oben zu bemerken, doch erfolgt, im Gegensatz zu diesen, die Abnahme bis auf sehr geringe Werte.

Die Darstellungen nach den Versuchen von Krüger erinnern mehr an die rechte Seite der

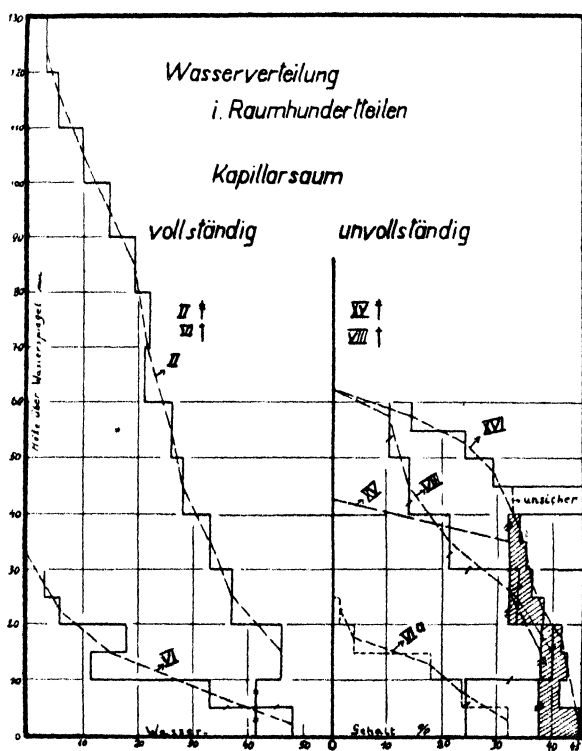


Abb. 7

Abb. 7, welche die Wasserverteilung von Versuchen zeigt, bei welchen die Untersuchung auf Wassergehalt der Abschnitte erfolgte, als die mögliche kapillare Steighöhe noch nicht erreicht war.

Die Untersuchungen wurden vorgenommen, um Anhaltspunkte darüber zu bekommen, in welcher Weise sich der Wassergehalt des Bodens nach der ersten Anfeuchtung verändert. Hierauf wird im nächsten Abschnitt eingegangen werden. Hier sei nur bemerkt, daß sich die Linien ähnlich gestalten wie die des fertigentwickelten Saumes, daß jedoch in der Höhe seines oberen Randes der Feuchtigkeitsgehalt plötzlich stark abfällt.

Bezeichnend sind die Unterschiede im Verhalten der Linien II, XV und XVI für feinkörnige, VI für grobkörnige und VIII für dazwischenliegende Böden.

### *III. Die Veränderung des Wassergehaltes innerhalb des Kapillarsaumes während des Wasseranstiegs.*

Die Veränderungen des Wassergehaltes innerhalb des Kapillarsaumes können auf zweierlei Weise festgesetzt werden. Nämlich durch

#### a) Parallelversuche.

Es werden mehrere Rohre mit gleicher Füllung (gleicher Boden und gleicher Dichte) bei verschiedener Entwicklung des Kapillarsaumes auf den Wassergehalt der einzelnen Abschnitte untersucht. Aus dem Unterschied der aufgenommenen Wassermenge einander entsprechender Abschnitte erhält man die Veränderung des Wassergehaltes. Die Abb. 7 veranschaulicht die auf diese Weise mit den Rohren XV und XVI gewonnenen Ergebnisse. Während des Anstieges von 40—60 cm hat sich bei Versuch XV/XVI der Wassergehalt zwischen 0 und 40 cm um das durch die Schraffur kenntlich gemachte Maß vermehrt.

Man sieht, daß sich ein Teil der Porenräume nicht sofort füllt, wenn die Durchfeuchtungsgrenze dieselben erreicht, sondern daß hierzu mehr Zeit gebraucht wird, weshalb sich der Wassergehalt der schon feuchten Bodenschichten noch einige Zeit hindurch weiter vermehrt. Bei dem Boden in den Rohren XV und XVI verhält sich die Füllung bei 40 cm Steighöhe zu der bei 60 cm, wenn letztere zu 100 gesetzt wird, wie in Tafel 5 angegeben.

Abschnitt cm	Anfängliche Wasseraufnahme %	Nachträgliche Wasseraufnahme %
0—10	87	13
10—20	90	10
20—30	86	14
30—40	92	8

Tafel 5

Der Wassergehalt betrug für den 40 cm hohen Abschnitt der Bodensäule bei 40 cm Steighöhe im Mittel 88,75% der Wassermenge, die ein gleicher Abschnitt bei 60 cm Steighöhe aufnahm.

Einen weiteren Vergleich erlauben die Versuche VI und VIa mit grobkörnigem Boden. Die Tafel 6 gibt die ermittelten Werte für einzelne Abschnitte.

Versuch Nr.	Poren- raum %	Steig- höhe cm	Abschnitt cm				
			0—5	5—10	10—15	15—20	20—25
Wassergehalt %							
VI	41,2	30	48	32,8	11,4	18	5,8
VIa	40,1	25	32	23,5	18,0	3,8	1,5
Verhältnis VI <sub>a</sub> /VI . . %			66,8	71,7	—	21,1	25,9

Tafel 6

Wird von Abschnitt 10—15 abgesehen, der eine nicht erklärte Unregelmäßigkeit aufweist, so liegt der Wassergehalt in VIa wesentlich tiefer als in VI. Die Unterschiede sind verhältnismäßig viel größer als bei dem feinkörnigen Boden in den Versuchen XV und XVI. Die nachträgliche Aufnahme ist also wesentlich größer. Wenn auch die beiden Versuchsgruppen nicht unmittelbar vergleichbar sind, da der Entwicklungsgrad des Kapillarsaumes verschieden war, und auch noch andere Schwierigkeiten für den Vergleich bestehen, so dürfte doch der grundsätzliche Unterschied zwischen grob- und feinkörnigen Böden zu erkennen sein, da bei den ersteren der anfängliche Füllungsgrad der Poren dem Endzustand weniger nahe kommt als bei den letzteren. Dies zeigen auch die folgenden Betrachtungen.

- b) Gewichts- und Steighöhenbestimmung während des Anstiegs und Feststellung des Wassergehaltes einzelner Abschnitte nach vollendetem Anstieg.

Dieses Verfahren hat den Vorzug vor dem zuerst genannten, daß nur *eine* Bodensäule erforderlich ist, und deshalb der Einfluß nicht nachprüfbarer Unterschiede der zu vergleichenden Bodensäulen wegfällt. Doch wird man sich hier mit Annäherungen begnügen müssen, da die Wägung während des Anstiegs immer nur die durchschnittliche Feuchtigkeit innerhalb der sichtbar durchfeuchteten Zone gibt, aber nicht die Wasserverteilung innerhalb dieser.

Geht man jedoch von der Annahme aus, daß die aufgenommene Wassermenge eines Abschnittes bei weiterem Aufstieg keinesfalls abnimmt, so zeigt sich, daß die Bestimmung der fortschreitenden Feuchtigkeitsaufnahme mit diesem Verfahren genügend genau erfolgen kann. Dies sei in den Ergebnissen des Versuches II näher ausgeführt.

In der Tafel 7 bedeuten: W die durch Wägung der einzelnen Abschnitte ermittelte Wasseraufnahme;  $W_m$  den Mittelwert von W;  $W_a$  den durch Wägung während des Anstiegs bestimmten Wassergehalt.

Abschnitt cm	W	Abschnitts- gruppe cm	Mittlere Feuchtigkeit		W <sub>m</sub> —W <sub>a</sub>
	%		W <sub>m</sub> %	W <sub>a</sub> %	
0—10	41,4	0—10	41,4	47,5	—6,1
10—20	46,0	0—20	43,7	43,6	+0,1
20—30	37,5	0—30	41,6	39,7	+1,9
30—40	32,9	0—40	39,5	34,4	+5,1
40—50	28,2	0—50	37,2	36,0	+1,2
50—60	26,0	0—60	35,2	32,7	+2,5
60—70	20,6	0—70	33,2	31,6	+1,6
70—80	21,9	0—80	31,8	29,7	+2,1
80—90	19,2	0—90	30,4	28,6	+1,8
90—100	16,7	0—100	29,0	28,0	+1,0
100—110	14,7	0—110	27,7	27,7	+0,0
				Mittel	+1,73

Tafel 7

Die letzte Spalte der Tafel 7 zeigt, daß bei diesem Boden nur ein kleiner Teil der Poren nicht gleich beim Anstieg gefüllt wurde und erst später Wasser erhielt. Wird von dem obersten Abschnitt abgesehen, so beträgt der Unterschied zwischen anfänglicher und endgültiger Füllung im Mittel nur 1,73 % der letzteren.

Ein wesentlich anderes Bild gibt dieselbe Berechnungsweise bei dem grobkörnigen Material vom Rohr VI. Man erhält:

Abschnitt cm	W %	Abschnittsgruppe cm	W <sub>m</sub> %	W <sub>a</sub> %	W <sub>m</sub> —W <sub>a</sub> %
0—5	48,0	0—5	48,0	—	—
5—10	32,8	0—10	40,4	28,4	12,0
10—15	11,4	0—15	30,7	20,7	10,0
15—20	18,0	0—20	27,5	16,6	10,9
20—25	5,8	0—25	23,2	14,5	8,7
				Mittel	10,4

Tafel 8

Der Unterschied zwischen anfänglicher und endgültiger Wasseraufnahme ist hier nicht nur für die unteren Abschnitte, sondern für den ganzen Kapillarsaum erheblich. Er ist jedoch noch immer viel kleiner als bei dem ersten Verfahren (Vergleich von VI mit VIa), weshalb das zweite Verfahren als zuverlässiger anzusehen ist. Es ist aber auch für die Praxis ausreichend, da es für schwere Böden gute Werte gibt, während die verhältnismäßig große Ungenauigkeit des Versuches VI praktisch bedeutungslos ist, da es sich hier um ein sehr grobes Material handelt (1—2 mm-Korn), das nicht als Kulturboden angesprochen werden kann.

#### *IV. Wasseraufnahme bei unvollständiger Ausbildung des Kapillarsaumes infolge ungenügender Mächtigkeit des Bodens über dem Grundwasserspiegel.*

Es wurde schon oben darauf hingewiesen, daß die Versuchsergebnisse von *Krüger* teilweise nicht mit denen des Vortragenden vergleichbar sind, da nicht überall die Möglichkeit einer vollen Entwicklung des Kapillarsaumes gegeben war. In diesem Zusammenhang seien folgende Versuchsergebnisse mitgeteilt.

Ein mit Boden I gefülltes Glasrohr wurde in bekannter Weise in Wasser gestellt und Anstieg und Gewichtszunahme in kurzen Zeitabständen beobachtet.

Nach 27 Stunden erreichte die sichtbare Durchfeuchtung den oberen Rand der 26,5 cm hohen Bodensäule. Die Gewichtszunahme betrug in diesem Zeitpunkt 164 g oder 37,8 Raumbundertstel. Nach weiteren 24 Stunden hatte sich das Gewicht um 11 g, nach 4 Tagen um 16 g vermehrt, so daß nun 40,3 Raumbundertstel Wasser waren. Als sich in weiteren 48 Stunden keine Gewichtsveränderung mehr einstellte, wurde der Außenwasserspiegel bis 5 mm unter Oberkante der Bodensäule erhöht, hierdurch stieg das Gewicht noch um 17 g und der Wassergehalt betrug 43,9 %. Bei Wiederholung des Versuches ergaben sich nur geringe Abweichungen.

Der Versuch zeigt, daß die Porenfüllung eines nicht vollausgebildeten Kapillarsaumes noch um ziemlich große Beträge steigt, nachdem die Durchfeuchtung das obere Ende der Bodensäule erreicht hat. Ferner zeigt der Versuch, daß der Porenraum unterhalb des Grundwasserspiegels noch immer beträchtliche Mengen Luft einschließen kann, wenn auch kleinere als innerhalb des Kapillarsaumes.

#### *V. Der tägliche Wassernachschub im Kapillarsaum während der Steigzeit.*

Im vorigen Abschnitt wurde gezeigt, daß in den untersuchten schweren Böden gleich bei der ersten Anfeuchtung durch aufsteigendes Grundwasser ein sehr großer Teil des überhaupt für die Wasseraufnahme in Frage kommenden Porenraums sich mit Wasser füllt. Nach dem Berechnungsverfahren b ergab sich für den Boden I nur ein Unterschied von 1,73 % zwischen der anfänglichen und der endgültigen Füllung. Innerhalb der einzelnen Abschnitte waren die Unterschiede z. T. größer, doch wird man keinen großen Fehler begehen, wenn man den Unterschied im Durchschnitt für derartige Böden mit 1,75 % annimmt und die endgültige Wasseraufnahme aus der anfänglichen durch Vermehrung um diesen Hundertsatz berechnet.

In dem Abschnitt «Steighöhe und Wasseraufnahme» wurde gezeigt, daß ein gesetzmäßiger Zusammenhang zwischen der Wasseraufnahme (Summenlinie) und der jeweiligen Steighöhe besteht. In dieser Gesetzmäßigkeit ist die Steigzeit nicht enthalten. Diese ist bei den Auftragungen in Abb. 8 berücksichtigt. Es wurde versucht, für die Versuche mit schweren Böden, die sich auf eine genügend lange Zeit erstrecken und die eine ausreichende Anzahl von Beob-

achtungswerten geliefert haben, die Beziehung zwischen Steighöhe und durchschnittlicher täglicher Wasseraufnahme während der Bildung des Saumes mit Hilfe logarithmischer Auftragungen zu be-

**Tägliche Wasseraufnahme**  
**i. Abhängigkeit**  
**v. Steighöhe u. Steigzeit**

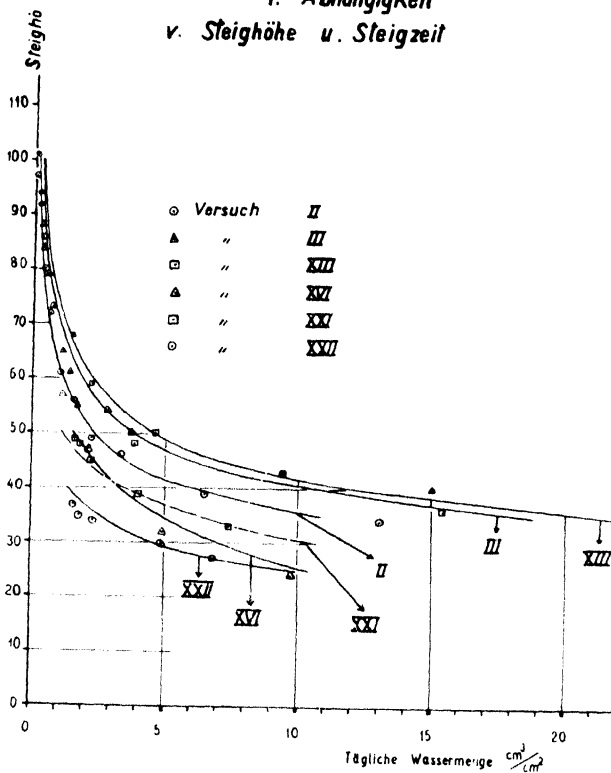


Abb. 8

stimmen. Die Auftragungen zeigten, daß eine Gesetzmäßigkeit nach der Gleichung

$$Q_t = \left[ m_t \left( \frac{H}{h} \right)^{n_t} - m_t \right] p_w \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

als gute Annäherung für den Anstieg in der Zeit nach dem zweiten bis dritten Tag angenommen werden kann.

$Q$  = tägliche Wasseraufnahme  $\text{cm}^3/\text{cm}^2$  = cm Wasserhöhe.

$m_t$  = dimensionsloser Beiwert.

$H$  = größte Kapillarsteighöhe (cm).

$h$  = jeweils erreichte kapillare Steighöhe (cm).

$n_t$  = Kotangente des Neigungswinkels der die Kurve wiedergebenden Geraden im logarithmischen System.

$p_w$  = hat die gleiche Bedeutung wie in Gleichung 1a.

Die Rolle, welche die Werte  $m_t$  und  $n_t$  in dieser Gleichung spielen, ist noch nicht geklärt. Zweifellos ist  $m_t$  stark abhängig von der Lagerungsdichte. Das zeigt die in Tafel 9 enthaltene Zusammenstellung der Werte  $m_t$  und  $n_t$ , die als gute Annäherung gefunden wurden. Die Rohre II und III sind mit gleichem Material bei etwas verschiedener Lagerungsdichte gefüllt. Der Wert  $m_t$  ist in beiden Fällen sehr verschieden. Er nimmt ab mit der zunehmenden Lagerungsdichte, was auch der Anschauung entspricht.

Auffallend sind die großen Unterschiede von Rohr XIII und XVI, die beide etwas verschieden in der Lagerungsdichte sind. Die Menge des aufgenommenen Wassers ist auch ziemlich gleich, jedoch brauchten sie (aus nicht geklärten Gründen) sehr verschiedene Zeit für die Wasseraufnahme. Der große Zeitaufwand von XVI kommt vor allem in dem niedrigen Wert  $n_t$  zum Ausdruck.

Gleiche Füllung jedoch bei sehr verschiedener Dichte haben die Rohre XXI und XXII. Beide Kurven genügen der oben angegebenen Gleichung 2, doch sind  $m_t$  und  $n_t$  verschieden.

Versuch Nr.	IIa	IIb	III	XIII	XVI	XXI	XXII
Boden Nr.	I	I	I	II	II	IV	IV
Porenraum %	51,4	51,4	52,1	55,8	54,8	37,0	47,4
$m_t$ . . .	0,087	0,107	0,150	0,177	0,288	0,0725	0,0196
$n_t$ . . .	4,2	4,0	4,2	4,2	2,42	3,85	4,2

Tafel 9

Aus der Tafel 9 ist zu entnehmen, daß in vier Fällen  $n_t = 4,2$  gesetzt werden konnte, obgleich drei verschiedene Böden zur Verwendung kamen, von denen XXII grobkörnig war.

Die  $m_t$ -Werte sind sehr verschieden. Der feinkörnigste Boden II hat das größte  $m_t$ , das größte Korn (Boden IV) das kleinste.

Für den Versuch wurden zwei brauchbare Gleichungen (IIa und IIb) gefunden, von denen die zweite jedoch eine etwas bessere Annäherung gibt, während IIa den Vorzug hat, wegen des gleichen Exponenten mit III, XIII und XXII besser vergleichbar zu sein.

Als Gesamtergebnis kann festgestellt werden, daß vermutlich die Lagerungsdichte in den Werten  $m_t$  und  $n_t$  zum Ausdruck kommt.

Für alle diese Kurven wurde  $H = 110$  cm gesetzt, da die endgültige Steighöhe und Steigzeit noch nicht bekannt ist. Trotzdem haben sich gute Annäherungen ergeben. Nach endgültiger Bestimmung dieser beiden Werte würden vermutlich auch die Beziehungen der  $m$ - und  $n$ -Werte zu den Bodeneigenschaften klarer werden. Die Gleichung 2 gibt die Wassermengen, die bei der ersten Benetzung des Bodens aufgenommen werden. Wie in Abschnitt II ausgeführt, ist die endgültige Anfeuchtung etwas größer als die anfängliche. Je nach der Feinheit des Bodenkorns dürfte der Unterschied 1 bis 10%

betragen. Soll der entsprechende Zuschlag  $q$  berücksichtigt werden, so ist die Gleichung in der folgenden Form zu schreiben:

$$Q'_t = (1+q) \left[ m_t \left( \frac{11}{h} \right)^{n_t} - m_t \right] p_w. \quad (3)$$

## VI. Die tägliche Wasserdieferung aus dem fertigen Kapillarsaum.

Die Gleichung 3 gibt die tägliche Wasseraufnahme einiger Versuchsböden in der Zeit, in welcher die Durchfeuchtungsgrenze nach oben wandert und sich der Kapillarsaum bildet.

Von größerem Wert ist aber, zu erfahren, wie stark der Zustrom aus dem Grundwasser in den Kapillarsaum in weit häufigeren Fällen ist. In diesen Fällen ist anzunehmen, daß bei gleichmäßigem Wasserentzug ein gleichmäßiger Wasserzulauf aus dem Grundwasser in den Saum stattfindet.

Der gesamte Wasserverbrauch  $Q$  von Pflanzen, deren Wurzeln im Kapillarsaum endigen, setzt sich aus drei Teilen  $Q_1$ ,  $Q_2$ ,  $Q_3$  zusammen.

$Q_1$  ist der Teil, der aus dem Boden über dem Kapillarsaum entnommen wird und der sich bei fehlendem Regen innerhalb der Wachstumszeit bis auf Null verringern kann.

$Q_2$  wird aus dem obersten Teil des Kapillarsaumes entnommen, wodurch sich die obere Grenze, bis zu welcher das Wasser kapillar ansteigt, über die Zeit der Wasserentnahme um ein Maß  $a$  absenkt. Diese Zone soll kurz Absenkungszone genannt werden.

$Q_3$  ist der Teil des Kapillarwassers, der von unten ansteigt und in die Absenkungszone einzudringen sucht, jedoch vorher von den Wurzeln abgesaugt wird.

Mit der Wassermenge  $Q_1$  haben wir uns hier nicht zu beschäftigen.

$Q_2$  läßt sich bei Kenntnis der Wasserverteilung im Kapillarsaum (vergleiche oben) berechnen, sofern das Maß der Absenkung  $a$  und der Feuchtigkeitsgehalt innerhalb der Absenkungszone (im abgesenkten Zustand) bekannt sind. Untersuchungen hierüber sind eingeleitet. In praktischen Fällen wird man durch Bestimmung des Feuchtigkeitsgehaltes von Bodenproben aus verschiedenen Tiefen die Größe  $a$  genügend genau ermitteln können.

$Q_3$  ergibt sich aus der Absenkung  $a$  und der Steighöhe  $H$  des Bodens bzw. aus  $H$  und  $h$ , da  $a = H - h$ , wobei  $h$  die Mächtigkeit des Kapillarsaumes unter der Absenkungsgrenze ist.

Der Wassernachschub im Kapillarsaum ist gegeben durch die Aufstiegsgeschwindigkeit und den Querschnitt der wasserführenden Porenbahnen. Der erstere kann in einfacher Weise an den Versuchseinrichtungen bestimmt werden. Abb. 9 gibt die Beobachtungen für einige der untersuchten Bodensäulen. In ihrem unteren Abschnitt verlaufen die Linien sehr flach, um sich dann rasch nach oben zu wenden. Der flache Teil entspricht dem raschen Anstieg während der



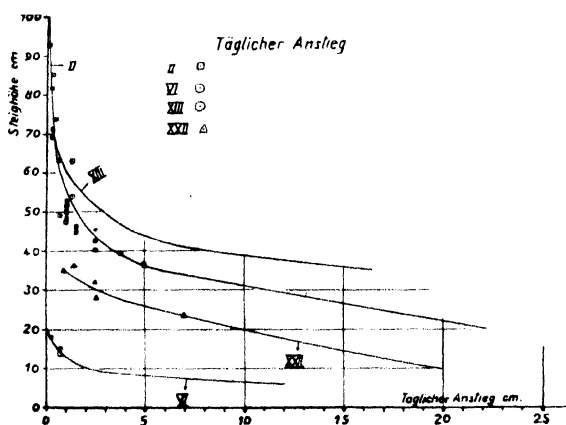


Abb. 9

mäßigkeit ab. Die Linien II und XIII sind nach der Gleichung 4 aufgetragen.

Diese lautet:

$$h_t = n_t \sqrt{H} \quad (4)$$

Hierin bedeutet  $h_t$  den täglichen Anstieg des Kapillarsaumes in cm.  $H$  und  $h$  haben dieselbe Bedeutung wie in Gleichung 3.  $m_t$  und  $n_t$  sind von den Bodeneigenschaften abhängige Größen. Die in Abb. 10 eingezeichneten Schaulinien sind nach Gleichung 4 berechnet.

Unter der Voraussetzung, daß der ganze wassererfüllte Porenraum in gleicher Weise als Leitung wirkt, läßt sich aus der Steiggeschwindigkeit und dem Porenraum der Wassernachschub im Kapillarsaum berechnen. Dieses ist in der Tafel 10 geschehen.

Der Wassernachschub kann aber auch unmittelbar aus den gemessenen Werten Anstieg und Gewichtszunahme ermittelt werden, wobei noch nach Abschnitt III, Seite 95, für den Dauerzustand ein Zuschlag von 1,75% zu den Werten gemacht wird, die für die Anfeuchtungsperiode

d. h. die Zeit der Bildung des Kapillarsaumes gelten. Abb. 10 gibt die so aus den Versuchsergebnissen gewonnenen Schaulinien für Versuch II und XIII.

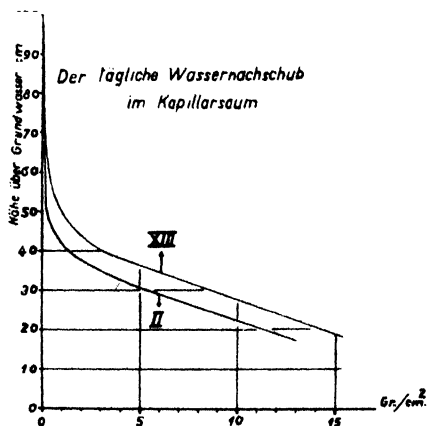


Abb. 10

ersten 24 Stunden, der stark gekrümmte und der ansteigende Teil den folgenden Tagen und Wochen. Durch logarithmische Auftragung fand sich für diesen Teil wieder eine gute Annäherung in einer Gleichung von der Form der Gleichung 3. Dagegen weicht der erste Tag stark von dieser Gesetz-

In der Tafel sind die 2 Benetzungsweisen miteinander verglichen.

h cm	45	50	60	70	80	100	
Versuch II v cm/Tag	2,1	1,5	0,66	0,36	0,2	0,14	0,09
p % . . . .	36	35	32	31,5	30	29	28
Q <sub>r</sub> cm <sup>3</sup> /Tag .	0,76	0,51	0,211	0,1	0,06	0,041	0,025
Q <sub>m</sub> cm <sup>3</sup> /Tag .	0,6	0,32	0,15	0,1	0,06	0,04	0,02
Zuschl. 1,75%	0,01	0,006	0,003	0,002	0,001	0,0007	0,0003
Q' <sub>m</sub> cm <sup>3</sup> /Tag	0,61	0,326	0,153	0,102	0,061	0,041	0,020
Vers. XIII v cm/Tag	4,3	2,9	1,0	0,43	---	---	---
p % . . . .	43	46	44	40	---	---	---
Q <sub>r</sub> cm <sup>3</sup> /Tag .	1,85	1,33	0,44	0,18	---	---	---
Q <sub>m</sub> cm <sup>3</sup> /Tag	1,85	1,00	0,43	0,18	---	---	---
Zuschl. 1,75%	0,03	0,02	0,007	0,003	---	---	---
Q' <sub>m</sub> cm <sup>3</sup> /Tag	1,88	1,02	0,437	0,183	---	---	---

Tafel 10

Es bedeuten:

- v Steigggeschwindigkeit des Kapillarsaumrandes in cm/Tag,
- p Porenraum in Raumhundertsteln.
- Q<sub>r</sub> aus v und p berechnete Wassermenge in cm<sup>3</sup>/Tag,
- Q<sub>m</sub> aus den Messungen unmittelbar gewonnene Wassermengen in cm<sup>3</sup>/Tag,
- Q<sub>m</sub> verbessert durch den Zuschlag in cm<sup>3</sup>/Tag.

Der Vergleich von Q<sub>r</sub> und Q'<sub>m</sub> gibt für Versuch XIII eine fast vollständige Übereinstimmung.

In Versuch II ist Q<sub>r</sub> meist ziemlich größer als Q'<sub>m</sub>.

Die Ursache dieses Unterschiedes liegt vermutlich darin, daß die genannte Voraussetzung für die Berechnung von Q<sub>r</sub> nicht ganz zutrifft, denn es ist anzunehmen, daß die Wassergeschwindigkeit in den Porenkanälen je nach deren Weite verschieden ist und daß Porenräume vorhanden sind, die wohl Wasser aufnehmen, aber als Leiter nicht oder nicht ihrem Querschnittsmaße entsprechend in Frage kommen.

Die Tafel 10 umfaßt nur Höhen von 45 und mehr cm, da kleinere Höhen im Bereich des anfänglich sehr raschen Anstieges liegen, die durch die Gleichung 3 nicht erfaßt werden. Die größten vorkommenden Steighöhen sind noch nicht die zu erwartenden Höchstmaße, dies ist besonders bei Versuch XIII der Fall, der sich noch lange hinziehen und wesentlich höhere Steighöhen ergeben wird.

Um die Wasseraufnahme der Säulenabschnitte festzustellen, wurde der Versuch am 4. 1. 37 abgebrochen. Die höchste erreichte

Höhe seit dem Versuchsbeginn (16. 5. 36), also in 239 Tagen, betrug 106,3 cm. Versuch XIII ergab eine Steighöhe von 72 cm in 33 Tagen. Beim Versuch II war die Steiggeschwindigkeit schon einige Wochen vor Abbruch der Beobachtungen sehr gering und die Durchfeuchtungsgrenze sehr verschwommen, weshalb eine Fortsetzung der Beobachtungen nur noch unsichere Ergebnisse liefern konnte. Klarer war bei XIII die Steighöhe, die sich auch noch deutlich veränderte. In den Rohren IV und V wird derselbe Boden wie in II und III noch weiter beobachtet und in mehreren Rohren der Boden von XIII, so daß sich später die Ergebnisse noch vervollständigen lassen.

Die Ergebnisse der Versuche II (mit Boden I) und XIII (Boden II) zeigen, daß der Wassernachschub in diesen Böden und bei der lockeren Lagerung (Porenraum 51,4 % und 55,8 %) in 90—100 cm Höhe über dem Grundwasser etwa 1 mm am Tag beträgt. Es ist das als Ergänzung zum Wasservorrat über der Absenkungsgrenze des Kapillarsaumes eine recht beträchtliche Menge, die sich schon bei einer Absenkung um weitere 10 cm ungefähr verdoppelt. Andererseits nimmt der Nachschub bei größerer Steighöhe rasch ab. Ist der Boden dichter gelagert, so erfolgt der Nachschub wesentlich langsamer. Soll den Wurzeln ein Nachschub aus dem Grundwasser von derselben Stärke zuteil werden, so müssen sie im dichteren Boden näher an den Grundwasserspiegel vordringen. Andererseits wird der dichtere Boden während der Wachstumsruhe im ganzen größere Wassermengen speichern, weshalb ein kleinerer Nachschub von unten und damit eine kleinere Absenkung der Kapillarsaumgrenze nötig wird.

## *VII. Über den Einfluß der Bodenluft auf den kapillaren Anstieg.*

Als Ergänzung zu den oben behandelten Versuchen über den kapillaren Anstieg unter normalem atmosphärischem Luftdruck wurde noch ein Vergleichsversuch zwischen zwei Bodensäulen vorgenommen, bei welchem möglichst alle Bedingungen gleich waren, mit Ausnahme des Luftdrucks. Es kam wieder der Boden II zur Verwendung. Die Lagerungsdichte war, wie aus den weiter unten gemachten Angaben über den Porenraum hervorgeht, etwas verschieden. Der Unterdruckversuch wurde wieder mit dem in der Abhandlung 8 über Sickerbewegung erwähnten Gerät vorgenommen. Die Beobachtungen stimmen auch mit den bei den Sickerversuchen gemachten überein, weshalb aus beiden dieselben Folgerungen gezogen werden müssen.

Unmittelbar nach der Entlüftung verzögerte sich der Anstieg in Rohr XXIV im Vergleich zu XXIII. Hierauf traten kleine Undichtigkeiten an der Versuchseinrichtung auf, was zur Folge hatte, daß sich der Anstieg verhältnismäßig beschleunigte, so daß bei Abschluß der Beobachtung am 12. Tage nach Beginn des Versuchs die Steighöhe in beiden Rohren gleich war.

# Anstieg in cm

Tag	1	2	3	4	5	6
R XXIII	22,3	26,5	31,6	31,2	38,6	39,8
R XXIV	16,5	18,5	21,6	23,1	29,7	33,6
Verhältniszahl	1,35	1,43	1,46	<b>1,48</b>	1,31	1,18

Tag	10			11		12
R XXIII	40,7	43,9	44,4	45,7	47,2	48,1
R XXIV	36,2	40,1	41,7	44,4	46,7	48,3
Verhältniszahl	1,12	1,10	1,06	1,03	1,01	1,00

Tafel 11

Die Ermittlung des Wassergehaltes einzelner Abschnitte hat das folgende Ergebnis geliefert. Die Wasseraufnahme betrug in Rohr XXIII 18,1 cm<sup>3</sup>/cm<sup>2</sup>, in Rohr XXIV 21,1 cm<sup>3</sup>/cm<sup>2</sup>, d. h. im Unterdruck wurden etwa 16,5% mehr Wasser aufgenommen als unter normalem Luftdruck. Es betrug:

	Rohr XXIII	Rohr XXIV
Porenraum . . . . .	52,8 %	49,8 %
Füllung des Porenraums	74,2 %	88,0 %

Auch in diesen Zahlen drückt sich der Einfluß der Bodenluft auf die Wasseraufnahme deutlich aus. Der Wassergehalt der einzelnen 5 cm langen Abschnitte war in der Bodensäule XXIV, also im Unterdruck, sehr gleichmäßig auf der ganzen Steighöhe verteilt, während im Rohr XXIII eine deutliche Abnahme mit zunehmender Höhe über dem Wasserspiegel zu erkennen war.

Zusammenfassend kann gesagt werden: Der Versuch hat ergeben, daß die Beseitigung eines Teiles der Bodenluft zu einer wesentlich vermehrten und beschleunigten Wasseraufnahme geführt hat. Die Poren, die durch die Entlüftung zur Wasseraufnahme befähigt wurden, sind anscheinend kaum als Leiter, sondern in erster Linie als Wasserbehälter benützt worden. Die Folge war ein langsamer, aber gleichmäßiger Wasseranstieg als unter normalem Luftdruck.

Mit der Abnahme des Unterdruckes steigerte sich in Rohr XXIII die Geschwindigkeit des Anstiegs.

Man kann sich die beobachteten Vorgänge so erklären: Die sich bei normalem Luftdruck mit Wasser füllenden und es weiter leitenden Poren bilden Porenschlote, aus welchen die Luft entweichen kann. Ein großer Teil der Poren bildet aber nur stumpfe Abzweige von den Porenschlotten (Sackgassen). In diese dringt das Wasser nur soweit ein, bis der Kapillardruck durch den Gegendruck der eingeschlossenen Luft ausgeglichen ist.

Es bleiben also zahlreiche luftgefüllte Porenräume. Wird, wie es im Versuch XXIV geschehen ist, der Boden vor dem kapillaren

Ansteigen des Wassers entlüftet, so kann das Wasser in die Sackgassen viel tiefer eindringen, bis die kleinen, noch vorhandenen Luftmengen so stark zusammengedrückt sind, daß sie den Kapillardruck aufnehmen können. Der jetzt noch mit Luft gefüllte Porenraum ist also viel kleiner als der bei normalem Luftdruck verbleibende.

Für den kapillaren Aufstieg kann es nicht gleichgültig sein, ob diese Sackgassen mit Luft oder mit Wasser gefüllt sind. Im ersten Fall wird stets ein Teil des in den Porenschloten ansteigenden Wassers in die Sackgassen abgegeben, was im zweiten Fall nicht möglich ist. Es ist deshalb im ersten ein langsamerer Anstieg der Feuchtigkeitsgrenze zu erwarten als im zweiten. Ein Versuch zur Prüfung dieser Anschauung ist in Vorbereitung, ebenso weitere Versuche der geschilderten Art, jedoch mit verschiedenen Böden. Die Versuchseinrichtung ist bereits so verbessert worden, daß jeder Unterdruck beliebig lang gehalten werden kann, so daß auch für die Theorie auswertbare Werte gefunden werden, während die oben mitgeteilten wegen der nicht genau bekannten Druckverhältnisse sich hierzu nicht eignen.

Ein hierzu brauchbarer Versuch ist bereits abgeschlossen, er konnte aber vor Einsendung des Vortrags nicht mehr bearbeitet werden.

## **II. Dränungsversuchswesen**

### **Recherches concernant le drainage**

### **Drainage research**

#### **10. Reduction potentials in drained and undrained soils <sup>1)</sup>**

By

Dr. *L. Smolík*, Brno, Czechoslovakia.

The influence of the drains on the soil from the point of view of its physics, chemistry, physical chemistry and biology is attested by a voluminous literature. It is also known that the function of a good underdrainage is dependent not only on the soil itself but also on the factors of soil management, and meteorological conditions.

In the course of my work, I found that the reduction potential of a soil is not only a function of many properties of the soil but also on conditions dictated by the climate. I am convinced therefore the final  $E_H$  of a soil cannot be regarded as a fundamental constant of that soil. The potential of water extracts of soils measured by the dropping mercury cathode method is similar to the reduction potential in this respect.<sup>2)</sup>

Drainage is practised in those countries whose soils tend to be reductive. There are no visible signs (morphological, structural, colour) during the initial stage of reduction, though it can be determined by the reduction potential (= latent reduction)<sup>3)</sup>.

The reduction potentials have been determined by immersing a plain platinum electrode into the soil hydrosuspension (about 1:2,5) --- redistilled and reboiled water was used --- and measuring the E. M. F. electrometrically. As comparative electrode the satur.

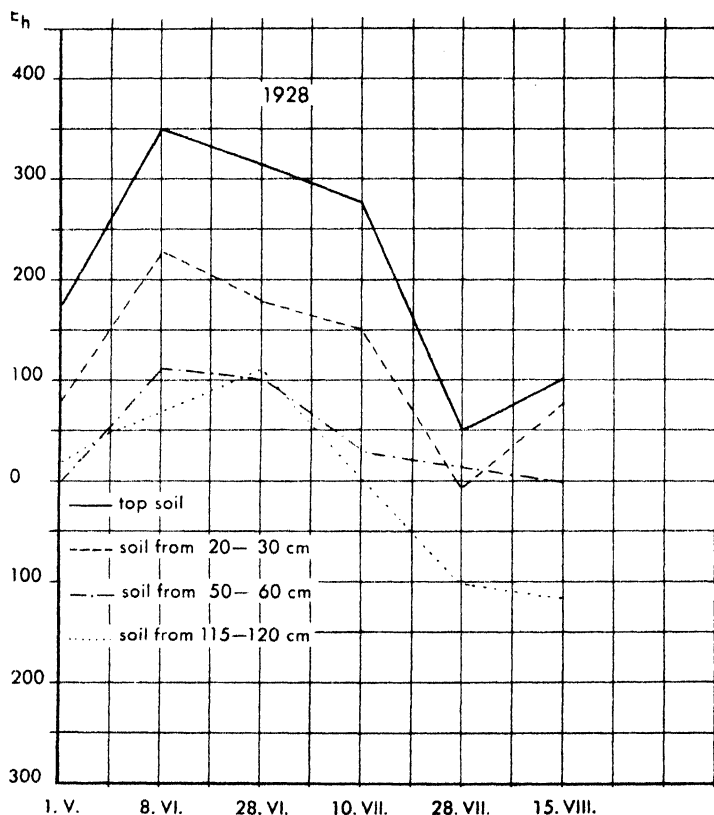
<sup>1)</sup> Electrometrical measurement was carried out in the Agricultural Experiment Station at Brno, Czechoslovakia.

<sup>2)</sup> *Hegrovsky J.* Chemické Listy 20, p. 122, 1926. Analýza rtuťovou kapkou.

<sup>3)</sup> See *L. J. Gillespie*, Reduction potentials of bacterial cultures and of water-logged soils, Soil Scie. IX, 1920. *P. Remesow*, Die oxydierenden und reduzierenden Prozesse in dem Podsolboden, Zeitschr. für Pflanzenernährung, Düngung und Bodenkunde, A, XV, 1933, p. 34. *L. Smolík*, Příspěvek k otázce redox-potencialu v našich půdách, Věstník ČAZ, 1934, X, No. 2 -3.

calomel one was used. The potentials have been expressed in  $E_H$ -values.

We know that adequate underdrainage usually favours plant growth but we still need a more detailed explanation. The same applies to the  $E_H$ -values.



Diag. N° 1. Redox-potential in the drained soil (under oats and clover)

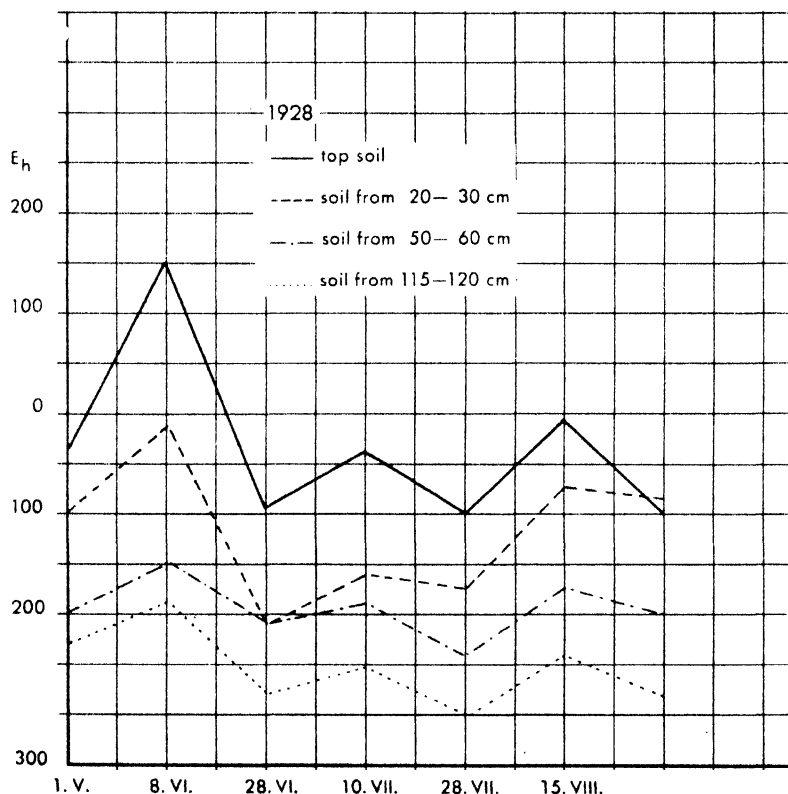
*Remesow* showed us the variability of the reduction potentials on Russian soils, I found similar data for our soils during two non-consecutive vegetation periods.

We do not know the exact limits of the  $E_H$  in various soils under various crops but we do know that anything which increases the  $E_H$  in podsollic soils has a beneficial effect.

Underdrainage affects the aeration and reaction of soils as also their biochemistry (*Gillespie*); it must therefore influence their reduction potentials.<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> How meteorology influences the  $E_H$  is shown in one example by *Smolík L.* Příspěvek k měnlivosti R/O-potenciálu v půdách, Věstník ČAZ 1935, X, p. 272.

After such reflexions experiments were conducted on faintly podsolized fields near Nemyčoves where a drainage system (depth 130 cm., spacing 15 m.) had been partially installed. Soil samples were taken at depths of 5—15 cm., 20—30 cm., 50—60 cm., and 115—120 cm. from the drained and undrained fields, which both carried the same



Diag. № 2. Redox-potential in the undrained soil (under oats and clover)

crop. The samples from the drained field were taken from points 2 metres away from the tile drains. Sampling was carried out during the growing period of the oats and clover crop in 1928 and of the potato crop in 1931.

The samples were cut out in the form of bricks, the electrometric measurements were carried out until constant readings were obtained on soil taken out of such bricks. The reduction potentials have been expressed in  $E_H$ .

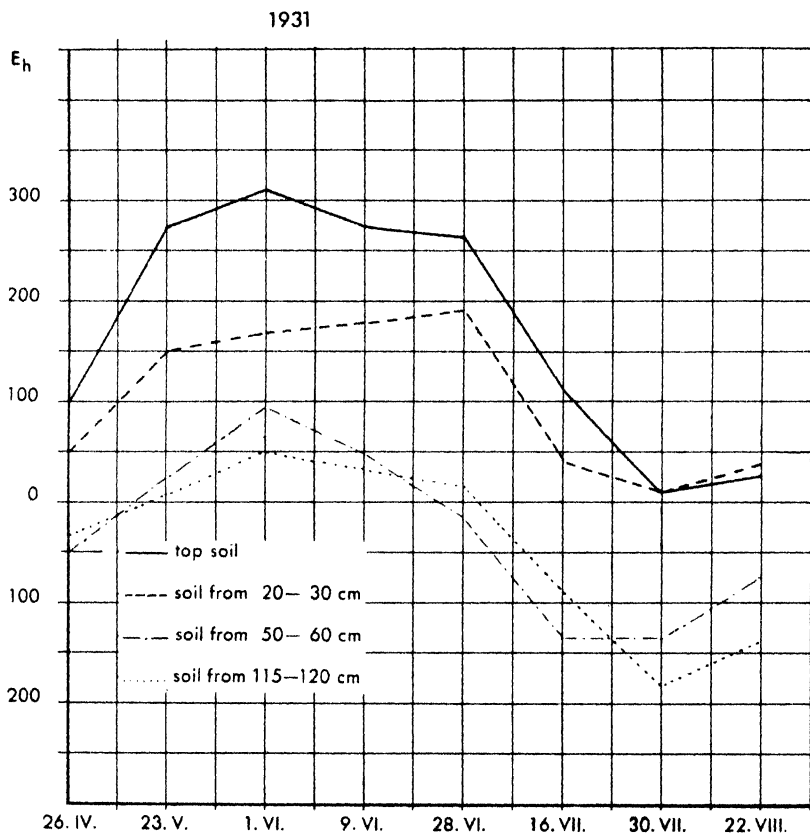
We present only two diagrams from 1928 and two from 1932 -- in each case the drained soil is compared with the undrained.



All the diagrams show that the  $E_H$ -values of the drained soils are higher than those of the undrained ones.

In 1928 the reduction potentials varied between:

- a)  $\pm 50$  and  $\pm 350 E_H$  in the surface soil of the drained field,
- b)  $-100$  and  $\pm 150 E_H$  in that of the undrained field.



Diag. No 3. Redox-potential in the drained soil (under potatoes)

In 1932 they varied between:

- a)  $\pm 10$  and  $\pm 310 E_H$  in the surface soil of the drained field,
- b)  $-90$  and  $\pm 100 E_H$  in that of the undrained field.

We do not intend to generalize our results, but it seems to us that the reduction potentials will probably be able to show us the correct scale of spacing.

In any case underdrainage has a very great effect on the reduction conditions of soils.

$E_h$

1931

— top soil —  
 ---- soil from 20— 30 cm —  
 — soil from 50— 60 cm —  
 ..... soil from 115—120 cm —

100—

100

200

26. IV.    23. V.    1. VI.    9. VI.    28. VI.    16. VII.    30. VII.    22. VIII.

**Diag. № 4. Redox-potential in the undrained soil (under potatoes)**

# 11. Beobachtungen an einer Versuchsdränung in Söllheim bei Salzburg

Von

Prof. Dr. Ing. *Josef Donat*, Wien, Österreich.

Anlässlich der Inangriffnahme von Vorflutverbesserungsarbeiten im Talbecken von *Söllheim*, das dem österreichischen Voralpenland angehört, wurde vom Meliorationsamte Salzburg eine kleine Versuchsdränung im ehemaligen Überschwemmungsgebiet des Söllheimer Baches angelegt.<sup>1)</sup>

Der Boden der Versuchsfläche ist sehr einheitlich. Auf einer mächtigen Schichte gut zersetzten Seggentorfes ruht in einer Stärke von rund 1,5 m ein anmooriger, toniger Schluffboden von hell-bräunlich-grauer Farbe, der neben einem hohen Gehalt an  $\text{CaCO}_3$  reichliche Beimengungen von zum Teil grob verteilten Pflanzenresten aufweist. Der Eisengehalt ist beträchtlich.

Die ermittelte Kornverteilung des Bodens erwies sich je nach der Art der Vorbehandlung als sehr verschieden, und zwar wurden bei dem nach *Atterberg* durchgeführten Absetzverfahren die folgenden Ergebnisse erzielt. Die Reihe I entspricht der Behandlung mit destilliertem Wasser, die Reihe II der Behandlung mit Lithium-Ion nach dem Vorschlag von *Vageler*.

Korngröße	mm	<0,002	0,002 —0,006	0,006 —0,02	0,02 —0,05	> 0,05
Anteil, % des Gesamtgew.	I	4,1	6,9	31,9	20,1	37,0
	II	16,5	14,5	36,9	11,1	21,0

Der Gehalt an  $\text{CaCO}_3$  schwankt in den einzelnen Bodentiefen zwischen 8 und 22 %, jener des Humus zwischen 14 und 18 % des Gewichtes. Der Porenraum beteiligt sich mit 74 bis 78 % am Gesamt-  
raum des Bodens.

Die Durchlässigkeit des natürlich gelagerten Bodens wurde durch Beobachtung des Wasseraufstiegs in Bohrlöchern nach *Diserens* mit durchschnittlich  $k = 2,1 \cdot 10^{-4}$  cm/sek erhoben.

Der Boden wurde als Wiese genutzt, doch fanden sich im unentwässerten Zustand zufolge der großen Bodennässe nur Bestände minderwertiger oder wertloser Pflanzen.

<sup>1)</sup> Ein ausführlicher Bericht über die Beobachtungen ist in Heft 4 und 5 der «Deutschen Wasserwirtschaft» Berlin, 1937, erschienen.



Versuchsfläche in einem Wetterhäuschen in 1,5 m Höhe über dem Boden untergebrachten Temperatur- und Feuchteschreiber sowie aus einem Regenschreiber und zwei Tonzellen-Verdunstungsmessern, die sämtliche in nächster Nähe der rund 300 m von der Fläche entfernt gelegenen Arbeiter-Unterkünfte aufgestellt worden waren.

Der Messung der Druckänderungen im Bodenwasser dienten sechs Beobachtungsrohre. Von den im Plane dargestellten Rohren I bis IV war je eines in der Mitte der Dränbeete von 8,5 m, 10,5 m und 19,0 m Breite, das restliche in dem rechtsufrig vom Schleiferbach gelegenen nicht gedränten Gebiet angeordnet worden. Leider war an dieser Stelle der Boden nicht der gleiche wie auf der eigentlichen Versuchsfläche, so daß die Beobachtungen an diesem Ort mit den übrigen nur bedingt vergleichbar sind. Die beiden restlichen Standrohre V und VI, die zur Vermeidung von Undeutlichkeiten im Plane nicht dargestellt worden sind, waren so versetzt, daß das Rohr V zwischen den Sauger 3 und das Rohr I, das Standrohr VI jedoch zwischen den Sauger 4 und das Rohr II zu liegen kam, und zwar in beiden Fällen in einem Abstand von 1,5 m vom betreffenden Drän.

Die Standrohre I, III, IV und V waren 1,8 m tief in den Boden reichende Holzschächte von 270 cm<sup>2</sup> Geviertquerschnitt, die Rohre II und VI waren gelochte Eternitrohre von 15 cm Lichtweite, also 177 cm<sup>2</sup> Innenquerschnitt. Die beiden letztgenannten waren mit selbstschreibenden Pegeln ausgerüstet, während in den übrigen der Wasserstand mindestens einmal täglich eingemessen wurde.

Weil die Abflüsse erst vom Herbst 1933 an mittels des selbstschreibenden Wassermessers aufgezeichnet worden sind und überdies erst einige Zeit nach der Verlegung des Söllheimer Baches in sein neues, tiefer im Talboden führendes Bett die Gefahr einer Beeinflussung der Versuchsfläche durch Fremdwasserzudrang beseitigt war, sind verlässliche Ergebnisse erst vom Herbst des Jahres 1933 an zu verzeichnen. Da die Fertigstellung der Bachregelungen leider auch den Abbruch der Beobachtungen zur Folge hatte, steht für die Untersuchungen nur der etwas knappe Zeitraum eines einzigen hydrologischen Jahres, beginnend am 1. November 1933 und endend am 31. Oktober 1934, zur Verfügung.

### *Die Beobachtungsergebnisse.*

1. *Die Temperaturverhältnisse.* In der Berichtszeit lag das Temperaturmittel um 2,3° über dem langjährigen Durchschnitt. Mit Ausnahme der Monate November, Dezember und Februar lagen in sämtlichen Monaten die Mitteltemperaturen, teilweise beträchtlich, über dem Durchschnitt. So wurden im März 2,6°, im April 3,7°, im Mai 2,9° und im September 3,0° über dem langjährigen Monatsmittel verzeichnet. Die Anzahl der Tage mit Frost betrug 106.

2. *Die Niederschläge.* Das Berichtsjahr ist durch die folgende Niederschlagsverteilung gekennzeichnet:

Monat	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Niederschlag	60	82	68	31	66	36	32	182	114	253	60	91

Der Jahresniederschlag von 1075 mm blieb um fast ein volles Drittel hinter dem durchschnittlichen zurück. Nur die Monate Dezember, Januar, Juni und Oktober wiesen annähernd die mittleren Monatssummen auf, während die übrigen Monate, ausgenommen August, zum Teil stark unternormale Niederschläge brachten. So blieb der April um 80 mm, der Mai um 120 mm, der Juli und der September um je 100 mm hinter dem Durchschnitt zurück. Einzig im August lag die Regensumme um rund 50 mm über dem Mittel. Der stärkste Tagesniederschlag wurde am 4. August mit 74,5 mm erhoben; er brachte, zusammen mit den in den folgenden 8 Tagen fallenden 91 mm Regen, die stärkste Grundwasseranschwellung der Berichtszeit hervor.

Die längsten Zeiträume ohne Niederschlag dauerten 11 Tage. Als außergewöhnliche Trockenzeit ist der ganze Zeitraum zwischen dem 21. März und dem 1. Juni anzusehen. Innerhalb dieser Zeit erreichte in 19 Regentagen die Niederschlagssumme nur 68 mm.

Der erste Schneefall wurde am 13. November, der letzte am 12. April beobachtet.

3. *Der Dränabfluß.* Einen Gesamtüberblick über den Wasserhaushalt der Versuchsfläche gewährt die folgende Zusammenstellung, aus der die Niederschlags-, Abfluß- und Verdunstungshöhen sowie die Abflußbeiwerte, nach Winter- und Sommerhalbjahr getrennt, zu entnehmen sind.

Zeitraum	Niederschlag mm	Dränabfluß mm	Verdunstung mm	Abflußbeiwert %
November - April .	343	270	73	79
Mai - Oktober . .	732	330	402	45
Jahr . . . . .	1075	600	475	56

Während im Sommerhalbjahr mehr als doppelt soviel Niederschlag fiel als im Winterhalbjahr, war die Sommer-Abflußhöhe nur um rund ein Fünftel größer als jene des Winters. Man kann daraus den bedeutenden Einfluß der Verdunstung bzw. des Wasserverbrauches der Pflanzen auf den Wasserhaushalt des Bodens ersehen. Die angegebenen Verdunstungszahlen bleiben, trotz der Vernachlässigung des allerdings geringfügigen Oberflächenabflusses, noch unter dem wahren Wert, weil bei ihrer Bestimmung die Änderung des Wassergehaltes des Bodens nicht berücksichtigt worden ist, die im Verlauf des Berichtsjahres eine Verminderung des Wasservorrates gebracht hat. Bei deren überschlägiger Berücksichtigung würde sich eine Jahres-Verdunstungshöhe von etwa 500 mm ergeben haben.

Während des überwiegenden Teils des Jahres herrschen die kleinen und mittleren Abflüsse vor, die weit hinter den der Bemessung der Rohrleitungen zugrunde gelegten Erfahrungszahlen zurückbleiben. Die Höchstabflüsse, die sich aus dem allgemeinen Abflußverlauf nur als sehr kurz anhaltende Spitzenleistungen hervorheben, überschreiten jedoch diese Werte ganz bedeutend. So wurde am 5. August eine Abflußspende von 4,4 l/s/ha während 8 Stunden überschritten.

Einen Überblick vermittelt die folgende Zusammenstellung über die Dauer der Dränabflüsse.

Dränabfluß größer als	2	1	0,75	0,50	0,40	0,20	0,10	0 l/s/ha
Dauer in Tagen	1,2	5,5	11,0	23	43	126	220	326

Der Anteil der höheren Abflüsse an der Jahresabflußmenge ist, in Anbetracht ihrer kurzen Dauer, nur sehr gering. Er erreicht z. B. für die Wasserspenden über 0,5 l/s/ha nur rund ein Viertel der Jahresmenge.

4. *Der Druckverlauf im Bodenwasser.* Durch die Beobachtung des Spiegelganges in den Grundwasserbeobachtungsrohren können die tatsächlichen Druckschwankungen im Bodenwasser nur unvollkommen, und zwar sowohl der Größe als auch dem zeitlichen Verlaufe nach verzerrt, dargestellt werden.

Wie in einem leergeschöpften Bohrloch der Wasserspiegel erst allmählich ansteigt und vielleicht erst im Verlaufe vieler Stunden praktisch jene Höhenlage erreicht, die der Grundwasserspiegel im umgebenden Boden einnimmt, so vermag auch die Druckanzeige des Standrohrspiegels nur abgeschwächt und verzögert dem wahren Druckverlauf zu folgen. Der Zeitpunkt des Eintrittes von Höchst- und Tiefstständen des Grundwasserspiegels wird daher gegenüber dem Eintritt der höchsten und tiefsten Standrohrspiegellagen jeweils zeitlich vorzuverlegen sein, und zwar um so mehr, je größer die Lichtweite des Beobachtungsrohres, je geringer die Durchlässigkeit des Bodens ist, und je rascher die Druckänderungen im Bodenwasser erfolgen.

Diese zeitliche Verzögerung der Druckanzeige tritt in den Söllheimer Beobachtungen klar in Erscheinung. In der Abb. 2 ist der

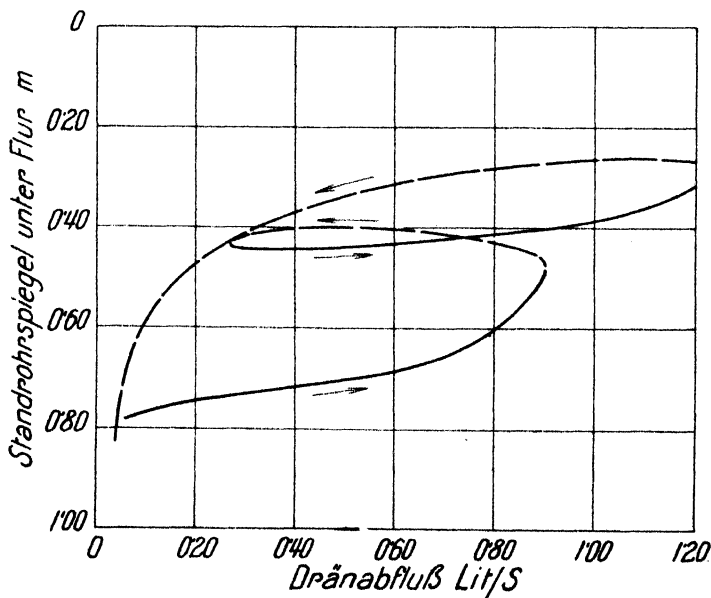


Abb. 2

Zusammenhang zwischen Dränabfluß und Wasserstand im Beobachtungsrohr II für eine Abflußwelle mit zwei aufeinanderfolgenden Wellenscheiteln in der Weise dargestellt worden, daß den zu verschiedenen Zeiten aufgezeichneten Abflüssen die gleichzeitig geschriebenen Standrohr-Spiegelhöhen punktweise zugeordnet und die erhaltenen Punkte stetig verbunden wurden. Die voll gezeichneten Linien entsprechen dem Anstieg, die gestrichelten dem Rückgang des Abflusses. Es zeigt sich, daß die Aufwärtsbewegung des Wasserspiegels auch dann noch eine Weile anhält, wenn der Abfluß nach Erreichung seines Höchstwertes schon im Rückgang begriffen ist.

Diese zeitliche Verzögerung kann sich naturgemäß nicht immer und überall in der gleichen Stärke äußern, sondern sie kann im Falle sehr durchlässigen Bodens, ferner bei sehr geringer Lichtweite der

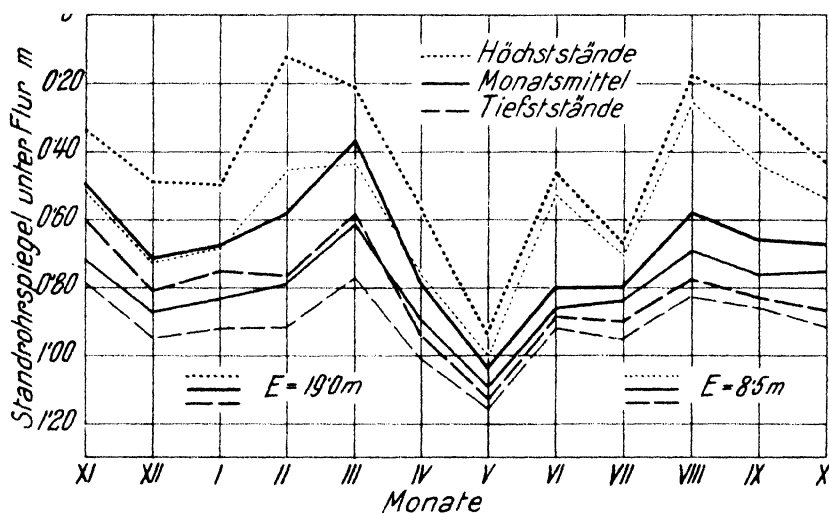


Abb. 3

Beobachtungsrohre und schließlich auch bei sehr langsam erfolgenden Druckänderungen belanglos werden. Eben darum erweist es sich aber als sehr notwendig, daß man sich, aus Gründen der besseren Vergleichsmöglichkeit an verschiedenen Orten angestellter Beobachtungen, auf eine bestimmte Lichtweite und Ausführungsart der Standrohre einigt, um wenigstens eine der Ursachen der Verzögerung als in allen Fällen gleichbleibend ansehen zu können.

Leider war auf diesen Umstand bei der Errichtung der Söllheimer Anlage noch nicht Bedacht genommen worden, so daß nur die Beobachtungsergebnisse von Standrohren derselben Lichtweite unmittelbar miteinander vergleichbar sind.

Der jährliche Verlauf der Wasserstandsschwankungen in den Beobachtungsrohren folgt dem Gang der Witterung. In Abb. 3 sind für die Holzschächte I und III die Monatsmittel der Standrohrspiegelstände unter Flur durch voll gezogene Linien, die in jedem Monat erreichten Höchst- und Tiefstlagen durch punktierte bzw. gestrichelte



Linien verbunden worden. Beim Vergleich der beiden Druckanzeigen in den verschieden weit gedrähten Teilflächen zeigt sich, daß die Unterschiede der Strangentfernung, sowohl bezüglich der monatlichen Höchstlagen als auch bezüglich der Monatsmittel und der Tiefstände, sich im Winterhalbjahr wesentlich stärker geltend machen als im Sommer.

Die Erklärung für dieses Verhalten ist in dem Einfluß der Verdunstung und des Wasserverbrauches der Pflanzen auf den Druckzustand des Bodenwassers zu suchen. Die Schwerkraft sowie die Verdunstung verursachen durch die Abfuhr von Wasser aus dem Boden eine Verminderung der Druckspannung und bewirken damit eine Verschiebung der Höhenlage jener gedachten Fläche, die das Gebiet des unter Druck stehenden Grundwassers von dem unter der Wirkung von Saugspannungen stehenden Kapillarwasser trennt, die wir als Grundwasserspiegel bezeichnen.

Je nach den kapillaren Eigenschaften verschiedener Böden wird einer und derselben Wasserentnahme eine verschieden große Saugspannungserhöhung entsprechen, und zwar eine um so größere, je feinkörniger der Boden ist. So kann bereits ein geringfügiger Wasserentzug durch Oberflächenverdunstung in sehr feinkapillaren Böden beträchtliche Erhöhungen der Saugspannung im Bodenwasser zur Folge haben und somit ohne nennenswerte Änderung des Wassergehaltes eine starke Senkung des Grundwasserspiegels hervorbringen.

Die Bewegung des Wasserspiegels in den Rohren stellt sich folglich als das Bild der vereinigten Wirkung von Schwerkraft und Verdunstung dar. Während die letztgenannte Wirkung naturgegeben ist und durch unsere Maßnahmen nicht beeinflußt wird, kann die erste durch Verringerung des Dränabstandes künstlich gesteigert werden. Je mehr demnach der Einfluß der Schwerkraft auf den Wasserentzug aus dem Boden gegen jenen der Verdunstung zurücktritt, in desto geringerem Maße können sich Unterschiede in der Wirkung verschiedener Strangentfernungen bemerkbar machen. In niederschlagsarmer Zeit mit starker Verdunstung werden somit die Standrohrbeobachtungen in verschieden weit gedrähten Teilen eines und desselben Bodens keine nennenswerten Unterschiede zeigen können und auf diese Weise dazu verleiten, die verschiedenen Dränabstände schlechtweg als wirkungsgleich anzusehen. In Zeiten großer Bodennässe und geringer Verdunstung müssen die Unterschiede jedoch schärfer fühlbar werden.

Als Beleg hierfür bringt die Abb. 4 einen Vergleich der Dauerlinien der Standrohrspiegelstände unter Flur für zwei 16tägige Zeiträume mit geringer und starker Verdunstung. Die vor Eintritt der Grundwasseranschwellungen vorhandenen Anfangslagen der Wasserspiegel sind am linken Rande der Abbildung angegeben. Die Niederschlagsmengen betrugen im ersten Zeitraum insgesamt 99 mm, mit größten Tageswerten von 31 mm und 38 mm; sie erreichten im zweiten Falle eine Summe von 178 mm, mit einem größten Tageswert von 74,5 mm. Die Verschiedenheiten der Verdunstungsbedingungen kommen in den mit  $\infty$  bezeichneten Dauerlinien für das nicht entwässerte Gebiet (Standrohr IV) zum Ausdruck, überdies jedoch in den Häufig-

keitszahlen der Tagesverdunstung, wie sie sich bei den Beobachtungen an den Tonzellen-Verdunstungsmessern ergeben hatten. Die Dauerlinie für die Strangentfernung von 10,5 m wurde, als wegen der abweichenden Lichtweite des Standrohres nicht unmittelbar vergleichbar, gestrichelt eingetragen.

Wie im vorliegenden Falle ergab sich allgemein, daß die Unterschiede in der Wirkung verschiedener Dränabstände im Bereich der höchsten Standrohrspiegellagen nur gering sind. So hat die Verringerung der Strangentfernung von 19,0 m auf 8,5 m eine Herabsetzung des Höchstanstieges um nur 8 cm ergeben. Die Forderung,

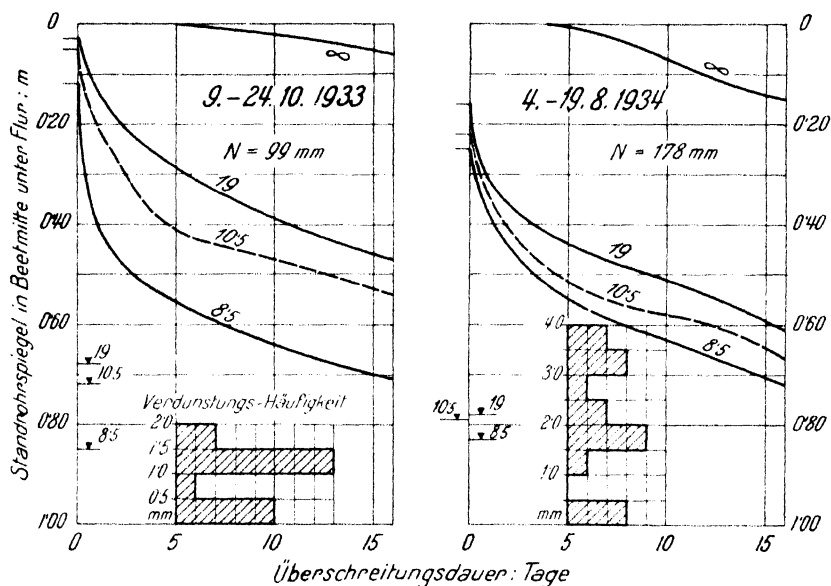


Abb. 4

die man häufig an eine Dränung gestellt findet, den Grundwasserspiegel nicht über ein gewisses Maß unter Flur ansteigen zu lassen, erweist sich also nach den Söllheimer Beobachtungen als ganz willkürlich und nicht einhaltbar.

Mit wachsender Überschreitungsdauer werden jedoch die Unterschiede im Verhalten verschieden weit gedränter Teile augenfälliger. Würde man z. B. annehmen dürfen, daß in Abb. 4 die Wasserstände in den beiden Standrohren die wahre Lage des Grundwasserspiegels mit dem gleichen Fehler anzeigen, ferner daß einer Spiegellage von 50 cm unter Flur gerade jene Grenzlage des Grundwasserspiegels entspricht, die noch mit keiner Schädigung des Pflanzenwuchses verbunden ist, dann käme die Überlegenheit der engeren Dränung, welche die schädlichen Stände im Oktober innerhalb 2,5 Tagen zu beseitigen gestattet, über die weitere, die dieses Ziel selbst in 16 Tagen nicht voll erreichen läßt, klar zum Vorschein. Im August wird die Schärfe des Unterschiedes aus den früher angegebenen Grün-

den wohl etwas verwischt, sie kommt aber noch immer deutlich zum Ausdruck, klarer jedenfalls, als wenn nur die Höhenlagen ohne Berücksichtigung der Dauer zum Vergleich herangezogen worden wären.

Die hier verwendete Darstellung in Form von Dauerlinien dürfte, bei ihrer Anwendung auf besonders kennzeichnende Zeiträume, geeignet sein, übersichtliche Vergleiche hinsichtlich der Wirkung verschieden weiter Dränungen auf die Bewegung des Standrohrspiegels zu ermöglichen. Vor dem Übergang zur praktischen Verwertung solcher Vergleiche wird es jedoch notwendig sein, die früher erwähnten Umstände im Auge zu behalten, wonach die Geschwindigkeit des Absinkens des Standrohrspiegels ja nur zu einem Teil von der Strangentfernung abhängt. Erst bei gegebener Möglichkeit einer vollen Berücksichtigung der Einflüsse der Standrohrweite, der Bodendurchlässigkeit und vor allem der Bodenverdunstung könnte von einer praktischen Verwendbarkeit der Standrohrspiegel-Beobachtungen für die Beurteilung der Wirksamkeit einer Entwässerungsanlage die Rede sein.

5. *Der Wasser- und Luftgehalt des entwässerten Bodens.* Es sind auch einige Aufnahmen über die Wirkung der Dränung auf das Gefüge und den Wasser- und Luftgehalt des Bodens durchgeführt worden. Aus der Wand eines quer über das 8,5 m breite Dränbeet angeordneten Schlitzes wurden in verschiedenen Tiefen und Abständen von den Dränen Bodenproben mittels zylindrischer Stahlringe entnommen, die 70 mm Lichtweite und 50 mm Höhe aufwiesen. An jeder Stelle wurden, zwecks Ausschaltung von Fehlern, Doppelbestimmungen durchgeführt, die sich fast durchweg als gut übereinstimmend erwiesen. Wenn die im Drängrabenfüllboden genommenen Proben, bei denen sich beträchtliche Unregelmäßigkeiten in der Verteilung des Porenraumes und des Wassergehaltes ergeben hatten, ausgeschaltet werden, betragen die Abweichungen der Doppelbestimmungen im Mittel nur 0,8 % des Porenraumes und 1,0 % des Wassergehaltes, und bleiben auch in den zwei ungünstigsten Fällen noch unter 3 bzw. 4 %.

Die erste dieser Entnahmen erfolgte am 7. August nach einer starken Grundwasseranschwellung, die durch einen Regenfall von 81,2 mm Ergiebigkeit hervorgerufen worden war und die in einem Wasserstand im Beobachtungsrohr I von 62 cm unter Flur ihren Ausdruck fand. Die zweite Aufnahme erfolgte am 20. August, 8 Tage nach einem weiteren, noch höheren Grundwasseranstieg und 5 darauffolgenden niederschlagsfreien Tagen, bei einem Standrohrspiegel von 73 cm unter Oberfläche. Der letzten Untersuchung, vom 3. Oktober, war eine 30tägige Trockenzeit vorausgegangen, während welcher an 9 Niederschlagstagen insgesamt nur 37 mm Regen gefallen waren, so daß der Standrohrspiegel im Rohr I bis 89 cm unter Flur reichte.

Bei diesen Untersuchungen hat sich nun ergeben, daß der Boden in 30 cm Abstand vom Drän, also der gewachsene Boden der Drängrabenwand, eine bis in 50 cm Tiefe zu verfolgende Auflockerung erfahren hatte, die sich in einer Vergrößerung des Porenraumes um etwa 2% äußerte, daß aber diese Lockerung seitlich noch nicht weit fortgeschritten sein konnte, da bereits in 1,0 m Abstand vom Drän eine solche Änderung nicht mehr festzustellen war.

Die Abb. 5 zeigt die Beobachtungsergebnisse über die Verteilung des Luftgehaltes, gerechnet als Unterschied zwischen Porenvolumen und Wassergehalt der Ringproben, in verschiedenen Tiefen und Abständen vom Drän. Danach nimmt der Luftgehalt von den Dränen

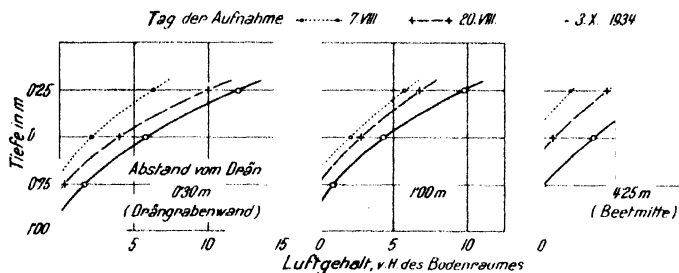


Abb. 5

gegen die Beetmitte rasch ab und bleibt daselbst auch für eine Standrohrspiegellage von 73 cm unter Flur in 25 cm Tiefe noch weit unterhalb der für Grasland als erforderlich angesehenen Grenze von 6 bis 10 %. Erst nach längerer Trockenzeit, am 3. Oktober, bei einem Wasserstand von 89 cm unter Oberfläche, wird mit einem Luftgehalt von 8 % in Beetmitte diese Grenze in 25 cm Tiefe erreicht.

Die folgende Zusammenstellung gibt den aus den Messungen für 1 m<sup>2</sup> Bodenfläche umgerechneten Luftgehalt des Bodens unterhalb 25 cm Tiefe in Litern an.

Tag der Entnahme	Standrohrspiegel unter Flur cm	Abstand vom Drän		
		0,30 m	1,00 m	4,25 m
7. August . . . . .	62	12,2	10,8	1,6
20. August . . . . .	73	22,5	15,5	6,4
3. Oktober . . . . .	89	31,0	24,1	18,2

Diese Zahlen sagen uns, wieviel Millimeter Wasserhöhe des anfänglich voll gesättigt gedachten Bodens durch Luft ersetzt worden sind. Der Gehalt an Bodenluft ist nach diesen Ergebnissen in der Feldmitte zwischen 2 Saugern auch bei sehr enger Dränung sehr gering. Wenn man nun überdies berücksichtigt, daß ein Teil dieser Luft von der freien Atmosphäre abgeschnürt ist und an deren Druckschwankungen nicht unmittelbar teilnimmt, dann ergibt sich ein noch wesentlich kleinerer Gehalt an beweglicher Bodenluft, die sich ständig erneuern kann und auf diese Weise für die Bodenatmung von Wert ist.

Da so die Möglichkeit der Zufuhr von Sauerstoff und die Abfuhr von Kohlendioxyd in Gasform sehr beschränkt ist, könnten möglicherweise bereits jene Mengen an Sauerstoff, die mit dem Regenwasser in gelöster Form in den Boden gelangen, vor allem aber die Mengen neu gebildeter und in Lösung gegangener Kohlensäure, die das versickernde Wasser auf seinem Wege durch den Boden mitführt und durch die Dräne ins Freie schafft, für das Wurzel- und Bakterienleben von Bedeutung werden.

## 12. Die Dränwirkung in der Trockenperiode

Von

Ing. *Olakar Solnař*, Landwirtschaftsrat der Landesbehörde in Prag,  
Tschechoslowakei.

Die Trockenperiode, von der in den letzten Jahren fast ganz Europa betroffen war, erreichte in der Tschechoslowakei im Lande Böhmen ihren Höhepunkt im Jahre 1935, in Mähren und in der Slowakei bereits im Jahre 1934. Ich will mich bloß mit den Verhältnissen in Böhmen befassen, und zwar auf Grund der bisherigen Ergebnisse des in diesem Lande organisierten Dränversuchswesens, weil ich hier über unmittelbare Erfahrungen verfüge. Die Trockenheit erwies sich eigentlich nicht als Ergebnis unzureichender Niederschläge, denn die jährlichen Gesamtniederschläge vom Jahre 1927 bis 1935 zeigen — mit Ausnahme des Jahres 1932 — keinerlei auffällige Abweichung von den normalen Jahresdurchschnitten, vielmehr ist die Dürre eher eine Folge ungünstiger Verteilung der Niederschläge und des Einflusses der Wärme. Die abnormalen Frühjahrstemperaturen verursachten ein rasches Verdunsten des Wassers sowohl aus dem Boden als auch aus den Pflanzen, und die hohen Sommertemperaturen steigerten noch die ungünstigen klimatischen Erscheinungen. Da diese Verhältnisse mit wachsender Intensität vom Jahre 1932 bis zum Jahre 1935 anhielten, ist es nur zu verständlich, daß die Fachleute der Wasserwirtschaft ein großes Interesse dafür bekundeten, wie sich die Dränung unter diesen ungünstigen klimatischen Bedingungen bewährt hat. Die Landesbehörde, Abteilung für Meliorationen, versandte daher an die Wassergenossenschaften in Böhmen Fragebogen, um die Meinung der Landwirte über die Wirkung der Dränung in der Trockenzeit kennenzulernen.

In Beantwortung des Fragebogens wurde in Böhmen eine günstige Dränwirkung von 338 Wassergenossenschaften gemeldet, einen unveränderten Zustand gaben 126 Wassergenossenschaften bekannt und nur 27 Genossenschaften bezeichneten die Wirkung der Dränung in der Trockenzeit als ungünstig. Interessant ist, daß es sich bei diesen 27 Genossenschaften durchweg um Meldungen aus dem Getreide- und Kartoffelbaugebiete handelt, und zwar aus den höher gelegenen Bezirken des böhmischen Hügellandes mit primären, durch direkte Verwitterung des Kristallinikums entstandenen Böden. Andererseits meldete aus dem Rübenbaugebiete keine einzige Wassergenossenschaft eine schlechte Wirkung der Dränung zur Zeit der Trockenheit. Diese auffällige Erscheinung wird in den später angeführten Untersuchungsergebnissen ihre Erklärung finden.

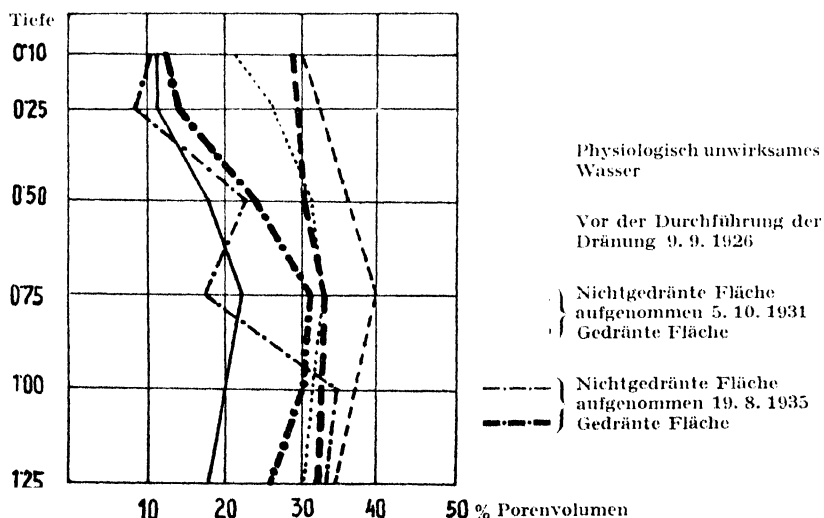
Nebst diesen mittelbar erworbenen Kenntnissen haben wir durch direkte Messung der Bodenfeuchtigkeit auf unseren Dränversuchsobjekten die Unterschiede zwischen gedränten und nichtgedränten Lagen festgestellt. Zwecks Vergleiches mit feuchteren Perioden wurden bloß Messungen im Herbste herangezogen, wo der Boden der angebauten Kultur bereits die erforderliche Feuchtigkeit gab, so daß die ermittelte momentane Feuchtigkeit eigentlich einen unverbrauchten Überschuß und somit eine Feuchtigkeitsreserve im Boden nach abgeschlossener Ernte darstellt.

Für das Referat wählte ich die auf der Drän-Versuchsstation in Mésice bei Tábor gewonnenen Untersuchungsergebnisse. Zur Charakteristik der Böden dieser Versuchsstation führe ich bloß eine einzige, mit dem Schlämmapparat nach Prof. *Kopecký* durchgeführte mechanische Analyse einer Bodenprobe aus 1,0 m Tiefe an:

Feine abschwemmbar. Teilchen, Körner im Durchschnitt unter 0,01 mm . . . . .	49,74 %
Staub, durchschn. Korngröße 0,01 bis 0,05 mm . . . . .	18,28 %
Staubsand, durchschn. Korngröße 0,05 bis 0,1 mm . . . . .	6,20 %
Sand, durchschn. Korngröße über 0,1 bis 2,0 mm . . . . .	25,78 %

Die Versuchsstation liegt in einer Seehöhe von 475 m. Die durchschnittliche Regenmenge für den Zeitabschnitt von 25 Jahren beträgt für Tábor 600 mm; im Jahre 1935 betrug dort die Jahresregenmenge 577,5 mm. Sie war jedoch so ungünstig verteilt, daß z. B. im März nur 54,9 %, im Juni 31,4 %, im Juli 42,3 % und im August 40,1 % der normalen Regenmenge niedergingen.

Aus den auf den Versuchsfeldern gewonnenen Ergebnissen, die jedoch wegen ihres Umfanges nicht alle veröffentlicht werden können, geht hervor, daß die Feuchtigkeitsverhältnisse in allen untersuchten Bodenprofilen im Trockenjahre 1935 für die gedränten Teilfelder ausgesprochen günstig liegen. Im folgenden Diagramm sind die



Feuchtigkeitsstände in nichtgedrännten Lagen zum Vergleich mit dem Stande in gedränkter Lage (Profil in der Mitte zwischen den Dränsträngen) veranschaulicht.

Das Diagramm veranschaulicht den Stand der Bodenfeuchtigkeit am 9. Oktober 1926 vor der Dränung durch eine schwach punktierte Linie. Die Feuchtigkeitsverhältnisse am 5. Oktober 1931, also in einem verhältnismäßig feuchten Herbst, sind für den nichtgedrännten Teil schwach, für den gedrännten Teil stark gestrichelt, und schließlich die am 19. August des katastrophalen Trockenjahrs 1935 für die nichtgedrännte Fläche schwach, für die gedrännte stark strichpunktiert erkenntlich gemacht. Ferner ist im Diagramm auch noch die Linie des physiologisch unwirksamen Wassers eingezeichnet, welche die äußerste Grenze bedeutet, unter welche die Bodenfeuchtigkeit nicht sinken soll, weil dann das Wasser durch den Boden so fest gebunden ist, daß die Saugkraft der Kulturpflanzen diese Feuchtigkeit nicht mehr erfassen kann.

Sehr deutlich zu ersehen ist aus der Zeichnung die günstige Dränwirkung im Trockenjahre 1935, wo sich der Feuchtigkeitsstand der gedrännten Lage mehr der gesamten wasserhaltenden Kraft von rund 30% nähert und ebenso im verhältnismäßig feuchteren Herbst des Jahres 1931. Auf der nichtgedrännten Fläche hingegen sinkt die Bodenfeuchtigkeit im Trockenjahre 1935 in den oberen Bodenschichten unter die Grenze des physiologisch wirksamen Wassers, so daß die Pflanzen nicht genügend Feuchtigkeit haben, während im feuchteren Jahre 1931 die nichtgedrännte Lage eine, die entsprechende wasserhaltende Kraft übersteigende Feuchtigkeit aufweist.

Die Erscheinung, daß die Dränung das Eindringen des Wassers in den Boden dadurch fördert, daß sie vermutlich den Luftwiderstand beseitigt und es so dem Boden erleichtert, sich mit Wasser zu sättigen, wurde von uns bei allen, und zwar in großer Zahl vorgenommenen Untersuchungen tiefer, fruchtbarer Böden festgestellt. Es zeigte sich bei allen untersuchten Böden — allerdings bei feinerer Körnigkeit deutlicher —, daß die verhältnismäßig größte Feuchtigkeit im Profil über dem Drän und in dessen nächster Nachbarschaft vorhanden ist, sofern das Volumen der wirksamen Poren es gestattet, und daß im Gegensatz dazu im Profil in der Mitte zwischen den Dränen die verhältnismäßig geringste Feuchtigkeit sich befindet. Diese steht im Widerspruch zur theoretischen Voraussetzung über die Bewegung des Wassers zwischen zwei Dränsträngen unter Zugrundelegung der Depressionskurven, aber in der Dränforschung habe ich nicht ein einziges Mal festgestellt, daß sich der Grundwasserspiegel über die Ebene erhoben hätte, in der die Dränrohre liegen. Über diese zwei Grundkenntnisse auf dem Gebiet der Dränforschung hatte ich bereits auf der im Juni 1929 in Prag stattgehabten Konferenz der VI. Kommission der Internationalen Bodenkundlichen Gesellschaft die Ehre zu berichten.

Die in Böhmen dränungsbedürftigen Böden lassen sich in zwei Gruppen einteilen, nämlich in solche mit grobkörniger und in solche mit feinkörniger Struktur. Die grobkörnigen Böden treten hier sehr selten auf, und die überschüssige Feuchtigkeit steigt in ihnen vom

hochliegenden Grundwasserspiegel nach aufwärts. Sie finden sich in Flußtälern in verhältnismäßig geringer Ausdehnung vor. Die Erfahrungen auf Grund direkter Forschungen sind daher hier recht gering und eigentlich eher negativ als positiv zu werten.

Die überwiegende Mehrheit aller bei uns gedränten Böden gehört in die Gruppe der feinkörnigen Böden (sandiger Lehm, Lehm bis Ton aller Art), bei denen die Durchnässung von oben her erfolgt. Die in den bestellten Boden leicht eindringenden Niederschläge stoßen auf minder durchlässige Unterlagen und das weitere Vorkommen eines Illuvialhorizontes (z. B. B-Horizont der Braunerde) erschwert das Durchdringen des Wassers, was eine Vermehrung der Nässe in den übergelagerten Schichten zur Folge hat. In solchen Böden wurden bei uns die meisten Versuche ausgeführt, so daß wir unsere Erfahrungen über das Eindringen des Wassers in den Boden entsprechend verwerten können. Diese Bewegung erfolgt nicht im Sinne der weitverbreiteten Theorie über die Depressionskurven zwischen zwei Dränen, sondern die eingelegte Dränung beseitigt, wie schon gesagt, aller Wahrscheinlichkeit nach den Luftwiderstand, was den Boden in seinem Bestreben unterstützt, sich bis zu seiner Kapazität zu sättigen, soweit dies allerdings seine Porosität und wasserhaltende Kraft zulassen. Demgemäß finden wir auch die größte Feuchtigkeit im Profil über dem Drän und in dessen nächster Umgebung. Hieraus könnte geschlossen werden, daß der Trockenheit teilweise durch bloßes Verdichten der Dränung begegnet werden kann, was allerdings auf den ersten Blick sinnwidrig erscheint, denn wir sprechen doch vor allem von einer *Entwässerung* der Grundstücke. In tiefen Ackerböden jedoch, wo das hohe Gesamtporenvolumen es erlaubt, reserviert die Dränung den Pflanzenwurzeln das Regenwasser in den tieferen Schichten für die Zeit des Bedarfes und im Falle eines neuerlichen Regengusses ermöglicht sie die Abfuhr des überschüssigen Wassers als kapillares Sickerwasser. In einem solchen Falle wäre theoretisch die Verdichtung des Drännetzes zweckmäßig und möglich, und versuchsweise ist sie auch von einer Anzahl fortschrittlicher Landwirte in der Weise durchgeführt worden, daß der Dränabstand von 8 m durch Einlegen von Zwischendränen auf 4 m herabgesetzt wurde. Der Erfolg im Trockenjahr 1935 war gut, denn die Pflanzen waren in solchen Lagen gleichmäßig und stark entwickelt. Dem wird jedoch eine Grenze gesetzt durch die Rentabilität der Investition und nicht minder durch den Wechsel von Perioden trockener und feuchterer Jahre. In feuchteren Jahren wäre die Verdichtung des Drännetzes unzweckmäßig, denn wie aus dem Diagramm zu ersehen ist (siehe nichtgedrännte Lage vor der Dränung im Jahre 1926), hat der Boden das unaufhaltsame Bestreben, sich mit Wasser bis auf seine wasserhaltende Kraft zu sättigen, es hat daher auch der nichtgedrännte Boden in diesem Falle eine hinreichende Reserve an Bodenfeuchtigkeit, ja deren Überschuß muß durch die Dränung abgeleitet werden. Schließlich verhindert auch bei tonigen Böden feinsten Körnigkeit die hohe Hygroskopizität die Ausnützung der Feuchtigkeitsreserve, so daß auch in diesem Falle eine Verringerung der Dränabstände keinen rentablen Eingriff bedeuten würde.



Anders verhält es sich bei den durch direkte Verwitterung des Kristallinikums entstandenen primären Böden. Solche Böden sind durch bloße mechanische Analyse, d. i. durch Analyse der Körnigkeit, nicht hinreichend charakterisiert, denn sie weisen im Untergrunde eine sehr geringe Porosität auf, sind fest gelagert, vielfach mit Glimmer durchsetzt und stark eisenhaltig. Als Beispiel führe ich ein Bodenprofil von der Böhmischo-Mährischen Höhe an, und zwar seine mechanische Analyse, das Gesamtporenvolumen, festgestellt in natürlicher Lagerung nach der Methode von Prof. *Kopecký*, die Hygroskopizitätszahl nach der internationalen Methode *Mitscherlich* und schließlich das spannungsfreie Porenvolumen nach *Vageler*. Alle Werte sind auf 100 g Trockensubstanz umgerechnet.

Tiefe der Probe m	Mechanische Analyse <sup>1)</sup>				Gesamtporenvolumen %	Hygroskopizitätszahl	Spannungsfreies Porenvolumen
	I. %	II. %	III. %	IV. %			
0,25	47,42	28,18	3,80	20,60	28,89	4,45	19,10
0,50	51,06	20,26	4,90	23,78	23,15	7,32	7,05
0,75	54,64	15,84	7,18	22,34	26,15	11,14	1,65
1,00	39,64	6,16	2,68	51,52	17,92	9,53	0

Aus dieser Tabelle ist zu ersehen, daß man aus der mechanischen Analyse auf eine verhältnismäßige Filtrationsfähigkeit des Bodenprofils schließen könnte, namentlich was die Bodenschichte in 1 m Tiefe betrifft; das Gesamtporenvolumen dieser Schichte (bloß 17,92 %) zeigt uns jedoch das Gegenteil. Viel deutlicher ersehen wir das ungünstige Verhältnis für die Bewegung des Wassers in die Tiefe aus der letzten Spalte, in der das spannungsfreie Porenvolumen nach *Vageler*  $P - W_{\text{Lent.}}$ , d. i. der Unterschied zwischen Gesamtporenvolumen und dem lentokapillaren point angeführt ist. Das lentokapillare Wasser bedeutet für uns die äußerste Grenze des unbeweglichen Wassers, das dem Gesetze der Schwerkraft nicht unterliegt und das auch durch die Dränung nicht abgeführt werden kann, da es sich wahrscheinlich nur bei Zustandsänderung bewegt. Erst Wasser in einer Menge über dem lentokapillaren Punkt bis zur vollen Porosität unterliegt der Schwerkraft und bewegt sich zwischen dem lentokapillaren Punkt und der wasserhaltenden Kraft als kapillares Sickerwasser; bei Vorhandensein irgendwelcher Poren über die wasserhaltende Kraft hinaus bis zum Gesamtporenvolumen schließlich bewegt sich das Wasser in diesen nichtkapillaren Poren rein durch Gravitation. Bei Verwertung dieser Zahlen für die Wirkung der Dränung ersehen wir, daß die Durchnässung dieser gebirgigen Lagen durch Regenwasser verursacht ist, das nicht tiefer in den Boden eindringen kann, und daß die eingelegte Dränung das durchdringende

<sup>1)</sup> I. bedeutet abschwemmbarc Teilchen der mechanischen Analyse nach *Kopecký*, Korngröße durchschnittlich unter 0,01 mm; II. durchschnittliche Korngröße 0,01—0,05 mm; III. durchschnittliche Korngröße 0,05—0,1 mm; IV. durchschnittliche Korngröße 0,1—2,0 mm.

Wasser nur durch zufällige Bodenrisse ableiten kann. In Trockenzeiten kann die Dränung in solchen Böden die Feuchtigkeit nur bis zu einer geringen Tiefe reservieren, denn im angeführten Falle ist das durch  $P - W_{\text{Lent.}}$  gekennzeichnete spannungsfreie Porenvolumen nur bis zu einer Tiefe von annähernd 50 cm für das durchsickernde Wasser zugänglich, während tieferzu die wirksamen Poren aufhören und schließlich in einer Tiefe von 1 m bereits sämtliche Bodenfeuchtigkeit so fest gebunden ist, daß hier eine Bewegung des Sickerwassers überhaupt aufhört. Ebenso können auch die Pflanzenwurzeln nicht tiefer dringen, einerseits wegen zu geringer Porosität, hauptsächlich aber mangels physiologisch wirksamen Wassers. Das lentokapillare Wasser ist fest an den Boden gebunden, so daß die Saugkraft der Wurzeln der Kulturpflanzen nicht ausreicht, diese Feuchtigkeit zu erfassen.

Bei diesen Wassergenossenschaften in gebirgigen Lagen dient die Dränung ausschließlich zur Ableitung des überschüssigen Wassers zur Regenzeit aus den obersten Bodenschichten, in denen sich auch die gesamte Reserve für das Eintreten einer Dürreperiode befindet. Diese geringe Schichte von höchstens 50 cm in unserem Falle ist beim Eintritt von Trockenheit nicht imstande, die durch gesteigerte Transpiration der Pflanzen herbeigeführten Verluste zu decken, um so weniger, als die schwache Bodenschicht selbst durch erhöhte Verdunstung leidet. Einen Ersatz aus tieferliegenden Schichten gibt es nicht oder nur sehr unzureichend, denn das lentokapillare Wasser ist fast unbeweglich und ein anderes findet sich in der Unterschicht nicht vor. Daraus wird uns klar, warum die Wassergenossenschaften im böhmischen Hügellande — wie eingangs erwähnt wurde — eine schlechte Wirkung der Dränungen zur Zeit der Trockenheit gemeldet haben; die Dränung führte das überschüssige Wasser ab, und da dem Boden infolge geringen Porenvolumens die Fähigkeit fehlt, hinreichende Wassermengen zurückzuhalten, litten diese gedrännten primären Böden unter der Trockenheit weit mehr als die nichtgedrännten, wo der Abfluß des Regenwassers ein langsamerer war.

Auf Grund des Vorgesagten können wir den Schluß ziehen, daß für den Dränabstand in Ackerböden feinerer Körnigkeit maßgebend zu sein hat einerseits die Bodenqualität, sowohl was die mechanische als auch die physikalische Zusammensetzung anbelangt, andererseits die Wirtschaftlichkeit des ganzen Unternehmens. Bei tiefen Böden von sehr guter Qualität und Ertragsfähigkeit werden wir nicht fehlgehen, wenn wir auch einen wesentlich geringeren Dränabstand wählen als den normalen, denn die höhere Investition wird namentlich in Trockenzeiten hereingebracht. Andererseits werden wir bei seichten primären Böden von geringer Ertragsfähigkeit ebenfalls keinen Fehler begehen, wenn wir den bloß auf Grund der Körnigkeit des betreffenden Bodens ermittelten, üblichen Normalabstand noch erweitern, denn solche Böden sind nicht genügend ertragreich, um höhere Investitionen zu vertragen, auch genügt der größere Abstand, um das überschüssige Wasser abzuführen, das zum Drän ohnedies nur durch zufällige Risse gelangt, und von einer Schaffung einer eventuellen Reserve für Trockenzeiten durch die Dränung kann bei diesen

Böden nicht die Rede sein. Ich betone, daß diese Erwägungen weder für Sandböden mit hohem Grundwasserspiegel zutreffen, noch für Wiesen, die sich bei uns, sofern sie überhaupt gedränt werden, nur in Tälern auf Böden von wechselnder Mächtigkeit der Anschwemmung finden und daher eine spezielle Untersuchung erfordern.

Die richtige Dräntiefe für Böden feinerer Körnigkeit läßt sich auf Grund unserer Forschungsergebnisse schon weit schwieriger bestimmen, denn sie wird bedingt sowohl durch den Charakter des Bodens selbst als auch durch klimatische Faktoren. In feuchteren Perioden bewährte sich bei uns ziemlich durchweg die seichtere Dränung (rund 1 m Tiefe), was auch den Erfahrungen in England entspricht, wo höhere Niederschläge vorherrschen. In einer Periode trockener Jahre hingegen können wir mit keinen verlässlichen Ergebnissen der Forschung rechnen und es läßt sich nur ganz allgemein sagen, daß in tiefen, hinreichend porösen Böden die bessere Wirkung durch eine tiefere Dränung erzielt wurde (bei Lehm Boden bis 1,4 m Tiefe), während bei Böden von geringerer Gesamtporosität ein besserer Erfolg eindeutig weder bei seichterer, noch bei tieferer Dränung feststellbar war. Bei ersteren Böden beeinflusste die tiefere Dränung wahrscheinlich durch gesteigerte Feuchtigkeitsreserve das Gesamtergebnis, während bei letzteren die in mehr oder minder großer Tiefe liegenden Schichten geringerer Porosität ausschlaggebend waren.

### 13. Der Wasserabfluß aus einem bestimmten Tonboden

Von

Prof. Dr. Ing. Jan Zavadil, Brünn, Tschechoslowakei.

A. Systematische Tonrohrdränungen werden in unseren Ländern schon seit mehr als 50 Jahren auf gesetzlicher Grundlage durchgeführt. Im Jahre 1894 wurde der Kulturingenieur, später Professor, *Josef Kopecký* zum Vorstand der pedologisch-hydrologischen Abteilung des Meliorationsamtes in Böhmen ernannt. Er klassifizierte jeden Boden nach dem Resultate seiner Schlämmanalyse und schlug immer denjenigen Dränabstand vor, welcher sich in ähnlichen Bodenverhältnissen schon bewährt hatte. Die Dräntiefe war gewöhnlich 1,3 m. Es wurde aber, namentlich in kalkreichen Böden, auch tiefer gedränt. Deshalb hat Prof. *Kopecký* den Dränabstand als Funktion der Tiefe ausgedrückt. Mit der Zeit wurden auch andere Einflüsse (Humus, Eisen- und Kalkgehalt, Jahresniederschläge, landwirtschaftliche Produktionsgebiete, sowie Oberflächengefälle) berücksichtigt. Die neuen Erkenntnisse werden immer wieder zusammengefaßt und danach die betreffenden Vorschriften ergänzt.

Anfangs entwässerte man hauptsächlich in den Ebenen, wo die alluvialen Anschwemmungen mit einer bestimmten Charakteristik und Kornlagerung vorkommen. Später wurden auch Böden gedränt, welche aus den stationären Verwitterungen der kompakten Gesteine entstanden waren. Hier mußte man nicht nur den Dränabstand, sondern auch die Dräntiefe gründlich berücksichtigen und sich hüten, die Erfahrungen aus den Ebenen schablonenmäßig zu übertragen. Es wurden auch hier überwiegend schwere Böden entwässert, in welchen kein ständiger Grundwasserspiegel zu finden ist.

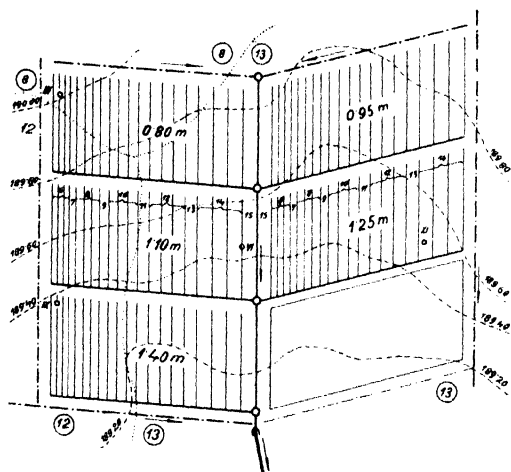
Man hat schon vor dem Weltkriege bemerkt, daß die praktischen Erfahrungen allein nicht genügen; aber erst im Jahre 1924 wurde mit dem systematischen Meliorationsversuchswesen angefangen. Es wird nunmehr auch versucht, auf theoretischem Wege in dieses Problem mehr Licht hineinzutragen. Ing. *H. Sychrava* versucht, von der mechanischen Bodenanalyse zur Bodendurchlässigkeit zu gelangen. Unter anderem müssen aber über das Porenvolumen Voraussetzungen gemacht werden, welche nur zufällig zutreffen. Prof. Dr. Ing. *K. Jíva* schreibt die Gleichung für den Dränabstand:

$$R = 2(t-u) \sqrt{\frac{K}{2}} = 2 \frac{(t-u)}{q} \cdot \frac{A}{K} = \frac{2(t-u)}{q} \cdot \left( \frac{al}{K} + bl \right) \\ 2(t-u) \cdot \left( \frac{a}{K} + b \right)$$

wobei K den Gehalt an abschlämmbaren Bodenteilchen ausdrückt, und die Konstanten a, b nach den jetzigen Erfahrungen bestimmt werden. Unsere bisherigen Resultate zeigen aber nicht, daß ein bestimmter Zusammenhang zwischen dem Gehalt an abschlämmbaren Bodenteilchen, der Hygroskopizität, der Bodenoberfläche und dem Durchlässigkeitsbeiwert nach dem *Darcyschen* Filtrationsgesetze be-

### DRÄNVERSUCHSSTATION „ZÁHATÍ.“

TAB. I



Sonde:	Tiefe:	pedol. Teil:	in % Körner nach Gewicht:				pedologische Beschreibung:
			I.	II.	III.	IV.	
			unter 0,01 mm	0,01-0,05 mm	0,05-0,1 mm	0,1-0,2 mm	
III	0,80	(8)	64,14	25,88	4,60	5,38	grau-grüner Tonboden
IX	0,80	(12)	73,24	17,48	6,58	2,70	grüngrauer mergel. Tonboden
VI	0,80	(13)	71,20	18,52	5,64	4,64	grüngrauer mergel. Tonboden

steht. Man muß deshalb dem langwierigen Weg der Feldversuche weiter folgen.

Im Jahre 1927 wurde die Dränversuchsstation Záhatí, unweit von Prerau in einem Sumpf angelegt, der aus einem ehemaligen Teich entstanden ist. Bei der Durchführung der Entwässerung floß das in langen Zeiten gesammelte Wasser ab. Man baute drei Jahre nacheinander Zuckerrüben an. Die Entwässerungskosten waren gleich am Anfang hereingebracht. Es handelt sich um einen Tonboden mit einem Gehalt an abschlämmbaren Bodenteilchen von über 60%, was von Prof. Dr. V. Novák bei der Bodenkartierung des betreffenden

Meierhofes später auch bestätigt wurde. Der Boden ist danach so schwer, daß hier bei der Einzelkornstruktur über eine einfache Durchlässigkeit schwer gesprochen werden kann. Deshalb darf man auch nicht einfach nach dem *Darcyschen* Filtrationsgesetz rechnen.

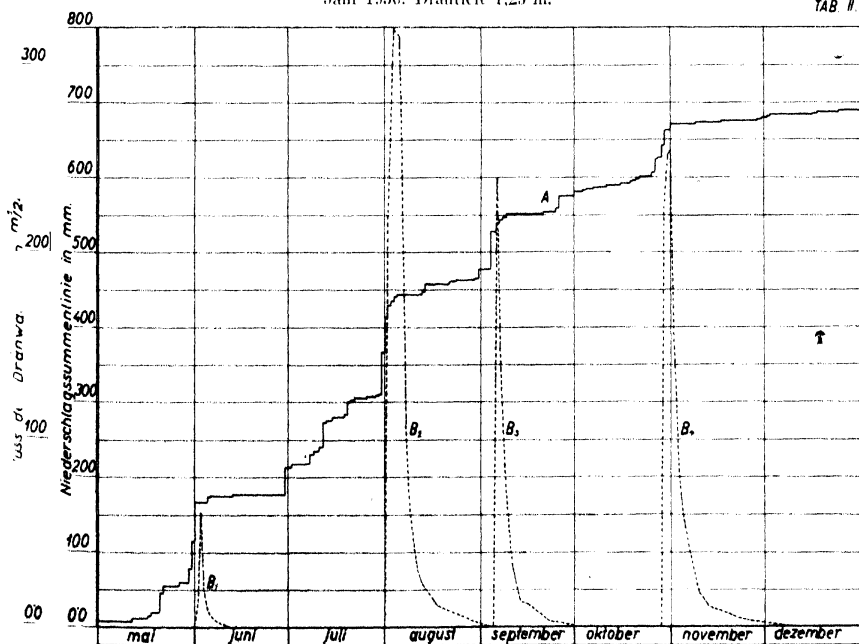
B. Die Versuchsstation Záhati, Tab. I, hat 6 je  $210 \times 110$  m = 2,31 ha große Abteilungen, von denen eine nur an der Peripherie gedränt wurde. Die Dräntiefen der einzelnen Abteilungen betragen: a) 0,8 m, b) 1,10 m, c) 1,4 m, d) 0,95 m, e) 1,25 m. In jeder Abteilung sind je 4 Sauger mit 6, 8, 10, 12 und 14 m Abstand. An den Ausmündungen der Sammeldräne der Abteilungen mit 1,1 m und 1,25 m Tiefe in die gemeinsame Zisterne und dann an der Ausmündung des Sammeldräns der Abteilung mit der Dräntiefe 1,4 m ist je ein geeichter Überfall und ein Limnigraph montiert, so daß hier die abfließende Wassermenge gemessen werden kann. Außerdem werden die Niederschläge sowohl mittels Ombrometer als auch mittels Ombrograph gemessen und ebenso die übrigen meteorologischen Faktoren sowie die Bodentemperaturen bestimmt.

Im Jahre 1933 wurde die Verarbeitung des Beobachtungsmaterials dem hydrologisch-pedologischen Institut der böhmischen technischen Hochschule in Brünn übertragen. Es herrschte damals eine starke Trockenperiode, während welcher in der Vegetationszeit tiefe und breite Risse im Boden entstanden sind. Aus den Dränen floß kein Wasser ab. Die Dürre dauerte bis August 1934. In diesem Monate betrugen die Niederschläge 156,4 mm. Die letzten 43,1 mm fielen

NIEDERSCHLAGSSUMMENLINIE A UND DIE ABFLUSSMENGEN DES DRÄNWASSERS B<sub>1</sub>

Jahr 1936. Dräntiefe 1,25 m.

TAB. II

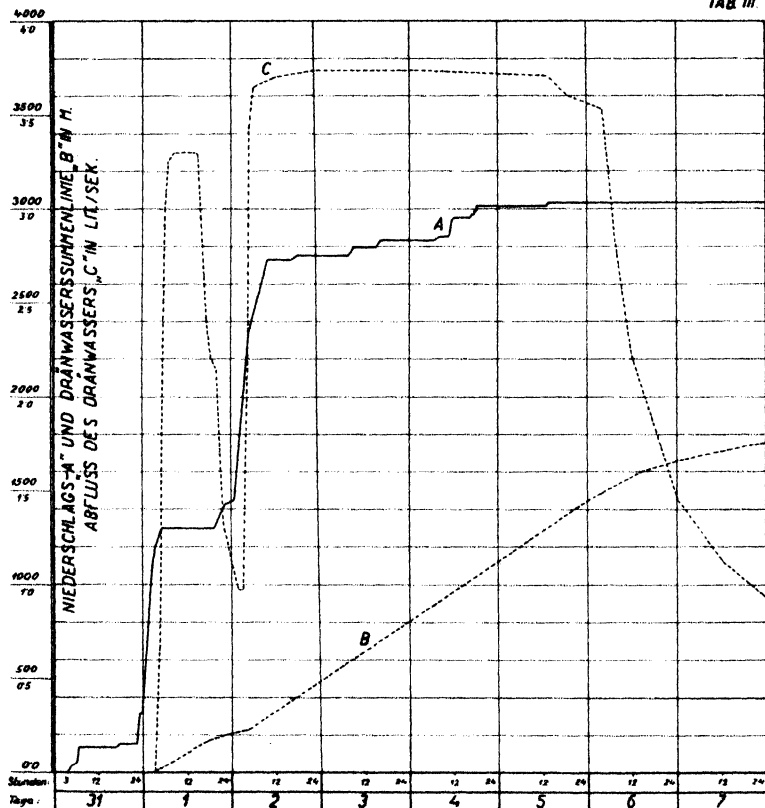


am 31. August; es folgten am 2. September 18 mm und anschließend noch 3,1 mm, 4 mm und 0,3 mm, im ganzen 68,5 mm. Am 2. September begann das Wasser abzufließen. Es floß reagierend auf weitere Niederschläge, trotzdem ihre Höhen die Monatsdurchschnitte schon nicht mehr überstiegen, bis zum Einfrieren. Jetzt konnte man die Kontrolle aller Installationen durchführen.

### ABFLUSSWELLE DES DRANWASSERS

VOM 31. JULI BIS 7. AUGUST IM JAHRE 1936.

TAB III



Der folgende Winter war trocken, im Jahre 1935 waren nur die Monate Mai und Oktober naß, sonst normal oder trocken, so daß es erst in der zweiten Hälfte des Jahres 1936 zu einer günstigen Gelegenheit kam, den Zusammenhang der Niederschläge und des Dränwasserabflusses zu verfolgen. Die Wintermonate November bis März weisen normale Niederschläge auf. Die Monate Mai bis Oktober waren naß, wie die folgende Zusammenstellung zeigt:

Monate	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
Prerau norm.	50	68	81	90	84	56	54	41 mm
Záhatí 1936	66	111	102	154	109	99	87	15 mm

Tab. IV

## Ausfluß des Dränwassers

Drähtiefe in Metern	Niederschläge				Anfang des Ausflusses nach dem Regenanfange		Maximum des Ausflusses nach Beginn des Regens		Die Zeit von Anfang bis Maximum des Ausflusses		Die Dauer des maximalen Ausflusses		Zeitintervall vom Regen- zum Ausfließen		Max. des Ausflusses in l/sec/ha		Die Dauer des Wasserausflusses		Summe des Dränwassers in m³	Spezif. Ausfluß in l/sec/ha	Summe der Niederschläge in m³	Ausfluß Regen in %
	Datum	Die Dauer	Die Höhe in mm	Durchschnittsintensität in l/sec/ha	St.	Min.	St.	Min.	St.	Min.	St.	Min.	St.	Min.	St.	Min.	St.	Min.				
1,25	1. VI.	20 00	71,4	9,92	4	00	31	00	27	00	2	00	14	00	0,474	11	12	00	119 173	0,0519	5 798 100	2,05
1,40					7	00	60	00	53	00	2	00	43	00	0,0995	21	01	00	59 975	0,0166		1,04
1,25	1. VIII.	7 20	49,7	18,83	3	00	10	00	7	00	5	40	8	20	1,515	31	10	40	2 112 282	0,336	3 823 050	55,2
1,25	2. VIII.	12 50	61,8	12,42	7	20	10	20	3	00	30	00	42	30	1,62	25	09	40	808 179	0,1596	2 882 880	28,1
1,40	4. IX.	4 10	44,8	29,87	24	20	27	00	2	40	22	00	44	50	1,515	53	16	40	726 406	0,0677		25,2
					26	00	29	00	3	00	7	00	31	50	1,038							
1,10	27. X.	6 20	18,5	8,20	48	40	50	20	1	40	26	40	70	40	0,607	10	14	20	536 400	0,254		26,82
	30. X.	15 00	36,5	6,76	10	50	12	50	2	00	8	00	5	50	0,779							
1,25	27. X.	6 20	18,5	8,20	49	00	51	00	2	00	34	00	78	40	1,256	38	09	00	1 440 603	0,188	2 000 460	72,03
	30. X.	15 00	36,5	6,76	18	50	20	50	2	00	30	00	35	50	1,281							
1,40	27. X.	6 20	18,5	8,20	49	20	51	20	2	00	38	20	93	20	0,636	34	12	40	710 183	0,117		35,09
	30. X.	15 00	36,5	6,76	23	30	26	50	3	20	64	20	76	10	0,650							



Die graphische Darstellung Tab. II gibt 4 Abflußwellen, und zwar anfangs Juni, August, September und November. Einen näheren Einblick in die Verhältnisse zeigt die Tab. III.

Die seichte Dränung führte immer die kleinste Wassermenge bei der kürzesten Dauer sowie bei dem höchsten sekundlichen Ausfluß; die Regenintensität machte sich hier am stärksten geltend (Tab. IV). Der Aufstieg der Wasserwelle war immer fast geradlinig und sehr steil; die Absenkung des Wasserausflusses war zuerst groß, dann immer kleiner, wobei die regelmäßige Senkungskurve, solange es nicht zu neuem Regen kam, die konkave Seite nach oben richtete.

Die Gerste wurde am 16. Juli gemäht, am 18. gesammelt, am 22.—24. gedroschen. Der Stoppelsturz fand am 24.—27. Juli, also vor der zweiten Wasserwelle statt. Es entfielen durchschnittlich bei der Dräntiefe 1,10 m 34,70 q/ha, bei 1,25 m 30,65 q/ha, bei 1,4 m 33,65 q/ha, auf der nur am Rande entwässerten Fläche 28,60 q/ha. Das Hektolitergewicht schwankte zwischen 67,25 kg und 69,28 kg (Tab. V). Die ganze Entwicklung der Gerste war bis zum Regengusse am 30. Juni sehr gut. Nach dem Regen lagerte die Gerste, was für die Höhe sowie für die Qualität der Ernte sehr ungünstig war. Neben der Dränung kommen immer noch Faktoren vor, deren Einfluß überwiegen kann und die bei den Versuchen ebenfalls festgestellt werden müssen.

### Gerstenertrag

Drän- tiefe	Drän- abstand	Korn- ertrag	Stroh- ertrag	Korn in %	Stroh in %	Korngew. für 1 hl	Gewicht von 1000 Körnern
m	m	q/ha	q/ha	%	%	kg	g
1,10	6	36,40	54,90	39,9	60,1	68,61	41,022
	8	33,00	51,40	39,1	60,9	67,92	40,252
	10	33,90	51,80	39,6	60,4	67,92	39,645
	12	36,10	52,60	40,8	59,2	67,90	39,855
	14	32,20	51,80	38,2	61,8	67,81	39,357
1,25	6	31,90	52,80	37,6	62,4	67,81	40,205
	8	30,20	47,00	39,1	60,9	68,09	40,420
	10	29,90	45,30	39,7	60,3	68,15	39,520
	12	32,00	46,00	41,1	58,9	67,78	39,877
	14	29,30	40,30	42,1	57,9	69,28	40,060
1,40	6	33,40	55,70	37,5	62,5	68,28	40,873
	8	31,60	52,30	37,7	62,3	68,02	40,145
	10	33,90	57,00	37,4	62,6	67,73	39,997
	12	32,40	54,20	37,5	62,5	67,98	40,285
	14	35,70	58,90	37,7	62,3	67,25	39,473
Mittel, gedränt		32,79	51,47	39,0	61,0	68,04	40,066
nicht gedränt		28,60	48,70	36,9	63,1	68,04	39,683

Tab. V

## 14. Sur l'amélioration des sols minéraux à humectation excessive en U. R. S. S.

Par

M. le Prof. *B. G. Geytman* à Leningrad, U. R. S. S.

La grande étendue du territoire de l'Union Soviétique, ainsi que la présence des sols minéraux à humectation excessive dans différentes régions (Mourman et Colchide, la R. S. S. de la Russie Blanche et la Région de l'Extrême-Orient) prédéterminent la variété des sols eux-mêmes, ainsi que du climat des localités à drainer et par conséquent la diversité des méthodes d'assainissement appliquées. Les vastes dimensions des aires à assécher, de même que les exigences des plans de production agricole ont aidé au développement rapide des travaux d'exploration préliminaire de ces terrains. En 1933-34, le Commissariat du Peuple à l'Agriculture a dressé l'inventaire des aires sous cultures fourragères et l'Institut Central pour les Engrais, l'Agrotechnique et l'Agropédologie ont exécuté dans nombre de régions une investigation pédologique des terres arables; l'Institut d'Hydrotechnique et d'Amélioration du Nord poursuit pendant plusieurs années l'exploration continue, par zones, des pâturages dont l'amélioration est envisagée pour en déterminer les caractéristiques et désigner ceux qui sont susceptibles d'être améliorés; ces recherches sont complétées par la compilation des cartes des zones étudiées et par l'identification des terrains; les résultats de ces travaux procurent des données détaillées pour l'établissement des plans de production agricole et des mesures d'amélioration à appliquer.

La plupart des sols minéraux exigeant un assainissement sont des sols à humectation temporaire excessive. Tel est le cas des sols de la partie Nord-Ouest de l'U. R. S. S., surtout pendant la période de la fonte des neiges au printemps et pendant les pluies prolongées d'automne, ainsi que des sols de la région de l'Extrême-Orient à la suite des averses de la seconde moitié de l'été et partiellement de celles d'automne. Les sols de la Colchide atteignent leur humectation maximum pendant la période du débordement de la rivière Rion. En même temps, on trouve en U. R. S. S. un grand nombre de sols minéraux marécageux à humectation excessive perpétuelle, qui ne se sont toutefois pas encore transformés en véritables marais. A ce groupe appartiennent surtout les sols tourbeux podsoliques glaiseux du «Landshaft» glacial, au Nord et au Nord-Ouest de l'Union. La composition mécanique des sols minéraux à humectation excessive oscille dans de larges limites — depuis les sols graveleux et sablonneux du Nord et du Nord-Ouest, jusqu'aux limons lourds et aux argiles, qu'on ren-

contre partout et surtout en Colchide et dans la région de l'Extrême-Orient.

L'étude des problèmes d'amélioration foncière est effectuée en U. R. S. S. par un réseau d'institutions expérimentales et de recherches scientifiques; on y compte presque une centaine d'institutions différentes. Les principales institutions expérimentales s'occupant des questions de drainage sont: 1<sup>o</sup> l'Institut scientifique et expérimental Central d'Hydrotechnique et d'Amélioration à Moscou; 2<sup>o</sup> l'Institut scientifique et expérimental Central pour la Mise en Valeur des Marais à Minsk; 3<sup>o</sup> l'Institut scientifique et expérimental d'Hydrotechnique et d'Amélioration du Nord à Léninegrad et 4<sup>o</sup> la Station expérimentale d'Amélioration à Poti.

Comme nous l'avons déjà dit, la diversité des terrains à assécher ainsi que des conditions climatiques des différentes zones, rendent nécessaire l'emploi de méthodes d'assainissement diverses. Pendant les dernières années, les investigations y relatives ont été effectuées dans les principales directions suivantes:

- 1<sup>o</sup> Assainissement par écoulement superficiel de l'eau pour l'éloigner de la couche arable;
- 2<sup>o</sup> assainissement par drainage souterrain;
- 3<sup>o</sup> correction du régime des eaux par changement des qualités physiques du sol, notamment par son aération;
- 4<sup>o</sup> problèmes d'assainissement spéciaux.

Nous donnons ci-dessous les résultats principaux des travaux exécutés dans les directions indiquées.

I. — *Assainissement des terrains minéraux par écoulement superficiel de l'eau pour l'éloigner de la couche arable.* En règle générale, dans les conditions de la plaine de l'U. R. S. S. l'efficacité d'un réseau lâche de fossés ouverts n'est pas suffisante; d'autre part, un réseau dense de canaux gênerait la mécanisation des travaux agricoles. C'est pour ce motif que les institutions expérimentales de l'Union ont recherché les moyens d'intensifier l'action d'un réseau lâche de fossés ouverts.

L'Institut Central d'Hydrotechnique et d'Amélioration a élaboré une méthode d'assainissement à l'aide d'un réseau de fossés ouverts, avec labourage des terrains le long du versant et captage de l'eau qui y descend (à travers la couche arable et surtout le long de la rigole tracée par la charrue) par des collecteurs ouverts. Ces derniers présentent un système de drainage composé de tranchées remblayées de matériaux perméables, permettant à l'eau de la couche arable d'y pénétrer; l'espacement des tranchées est de 20 à 60 m.

L'Institut d'Hydrotechnique et d'Amélioration du Nord a rationalisé la méthode d'assainissement des terres arables par rigolage. On trace le réseau des rigoles à l'aide d'un buttoir lors du labourage d'automne en laissant des sillons de partage. L'espacement des rigoles varie de 2 à 8 mètres selon les propriétés du sous-sol.

Le premier procédé s'applique par excellence dans des régions à sols lourds et à relief plus accentué; le second est largement répandu dans les «kolkhoses» (exploitations collectives) du Nord et du Nord-Ouest de l'U. R. S. S.

II. — *Les expériences d'assainissement par drainage souterrain* sont poursuivies dans deux directions: l'étude du drainage ordinaire et l'étude du drainage taupe.

L'étude du drainage est effectuée surtout par l'Institut d'Hydrotechnique et d'Amélioration du Nord ainsi que par l'Institut Central d'Hydrotechnique, d'Amélioration et de Mise en Valeur des Marais. Les expériences sont poursuivies sur des champs d'essai dans les kolkhoses et sovkhoses (exploitations d'Etat) près de Léninegrad et de Moscou, au Mourman (sols tourbeux), dans la région de Jaroslavl, et en d'autres endroits. Des investigations théoriques y sont également effectuées.

De l'espacement des lignes de drains pratiqué tant en U. R. S. S. que dans les autres pays, on a déduit des formules théoriques différentes, tenant compte non seulement du coefficient de filtration, mais aussi de l'évaporation et des précipitations atmosphériques. De telles formules ont été établies par l'académicien *Kostiakov*, par *Erkine*, *Ivitskij* et *Pissarkov*. Ce dernier auteur a proposé les formules générales suivantes:

1<sup>o</sup> lorsque la couche imperméable est voisine de la surface:

$$t = \frac{\sigma \cdot E}{4 \sqrt{KP}} \left( \ln \frac{2 H_1 \sqrt{K} - E \sqrt{P}}{2 H_1 \sqrt{K} + E \sqrt{P}} - \ln \frac{2 H_2 \sqrt{K} - E \sqrt{P}}{2 H_2 \sqrt{K} + E \sqrt{P}} \right)$$

2<sup>o</sup> dans le cas contraire:

$$t = \frac{\sigma \cdot E \cdot \ln E/d}{\pi \cdot K} \cdot \ln \frac{\pi K H_1 - EP \ln E/d}{\pi K H_2 - EP \ln E/d}$$

où  $t$  désigne la durée de l'abaissement du niveau des eaux souterraines au-dessus du drain;  $H_1$  et  $H_2$ , les niveaux des eaux souterraines au commencement et à la fin de la période  $t$ ;  $E$ , l'espacement des lignes de drains;  $\sigma$  le rendement en eau du sous-sol;  $K$ , la hauteur d'eau infiltrée pendant le temps  $t$ ;  $P$ , la différence entre la hauteur de pluie tombée et l'évaporation pendant le temps  $t$ ;  $d$ , le diamètre du drain;  $\pi$ , le nombre 3,14.

On peut déduire de la première formule, comme cas particuliers, les formules de l'académicien *Kostiakov*, de *Diserens* et d'*Erkine*.

Les investigations faites sur des limons moyennement podsolisés par le professeur Dr. *Rosov* et par d'autres savants ont montré que dans nombre de cas un réseau de drains lâche et peu profond n'est pas moins efficace qu'un système de drainage établi dans le rapport normal entre la profondeur et l'espacement des drains. En raison de la grande étendue des terrains agricoles à assainir, on poursuit en U. R. S. S. (surtout à l'Institut sc./exp. d'Hydrotechnique et d'Amélioration du Nord) l'étude approfondie de la possibilité d'appliquer les systèmes de drainage lâches et peu profonds.

On a effectué toute une série de travaux pour préciser les caractéristiques du drainage, la durée de fonctionnement des drains et l'influence exercée par le drainage sur le chimisme du sol. L'étude de l'envasement des drainages, dans les conditions adoptées par *Pissarkov*,

a montré l'importance décisive de la présence dans le sol de grains d'un diamètre de 0,25 à 0,5 mm.

L'étude du chimisme des sols drainés a montré qu'en certains cas, l'acidité des sols s'accroît graduellement (évidemment à cause de l'entraînement du calcium) et que les nitrates ne sont entraînées qu'en faible quantité (de 1 à 2 kg par ha, suivant *Rozov*). Ce n'est que dans le cas de jachères de longue durée que la quantité des nitrates entraînés s'accroît.

Dans les conditions des sols de l'U. R. S. S. ainsi que dans nombre d'autres contrées d'Europe et d'Amérique, le drainage taupe est souvent exposé au danger d'être envasé. Dans les conditions de l'U. R. S. S., les essais de l'Institut d'Hydrotechnique et d'Amélioration ont confirmé l'applicabilité des indices recommandés par le Dr. *Janert*, pour déterminer si les sols étudiés sont appropriés au drainage taupe; on poursuit les travaux pour élaborer une méthode simplifiée permettant d'examiner sur le terrain le délitement du sous-sol.

Il est intéressant de noter qu'en plusieurs régions de l'U. R. S. S. les galeries du drainage taupe continuent à fonctionner, malgré leur envasement; la cause de ce phénomène ainsi que la possibilité de son utilisation pratique sont actuellement étudiés.

III. — *Les méthodes appliquées pour agir sur les propriétés des sols forestiers* en vue de leur assainissement sont examinées dans deux directions:

A. L'Institut Central d'Hydrotechnique et d'Amélioration a proposé la méthode de «taupage» — construction annuelle d'un réseau dense de petits conduits en galerie à la profondeur de 25 à 35 cm accompagnée d'un labourage avec une charrue ordinaire, munie d'un simple appareil «taupe». L'eau s'écoule par une rigole traversant les galeries. On a toutefois en vue non l'assainissement, mais l'aération du sol. Des essais pour éprouver ce procédé sont en train d'être effectués par l'Institut Central et l'Institut du Nord.

B. L'Institut du Nord a préconisé et étudié une méthode «d'amélioration de la couche sous-arable», se basant sur l'application d'un complexe de mesures, augmentant la perméabilité du sol. On examine l'influence exercée sur le sol par les racines des herbes vivaces, par les engrais et par l'ameublissement mécanique. Les investigations préliminaires effectuées en 1936 ont démontré:

- a) que le drainage a une influence positive sur la profondeur de la pénétration des racines dans le sol;
- b) que la perméabilité du sol s'accroît, sous l'influence du calcium; l'entraînement de ce dernier par les eaux ne s'est manifesté d'une manière plus ou moins accentuée que sur des sols nettement acides;
- c) que la perméabilité s'accroît sous l'influence des sesquioxides et de l'acide phosphorique.

L'effet de l'ameublissement mécanique n'est que de courte durée, ce qui paraît provenir (*v. Musgrave and Free*) du remplissage des

pores de la couche inférieure non ameublie, par des particules fines, libérées lors de l'ameublissement.

IV. — *Problèmes d'assainissement spéciaux.* En U. R. S. S. le développement de l'équipement hydrotechnique, qui a pour conséquence la submersion de terrains agricoles, a montré la nécessité de limiter cette submersion et d'élaborer des méthodes rationnelles propres à en prévenir les effets nuisibles. Ces deux points ont été respectivement élucidés par l'Institut du Nord (en tenant compte des indices d'exploitation) et par l'Institut Central d'Hydrotechnique et d'Amélioration.

Une série de travaux d'assainissement fut aussi exécutée sur des terrains à bâtir. Pour leur assainissement, on recommande principalement de poser des drains de tête en les doublant, en cas de nécessité, par des puits verticaux.

On élabore des procédés d'assainissement pouvant être appliqués dans les régions glaciaires.

Dans les conditions de l'U. R. S. S., les problèmes de la mécanisation des travaux d'assainissement acquièrent une grande importance. L'Institut d'Hydrotechnique et d'Amélioration fait des essais avec un escavateur qu'on accroche à un tracteur pour creuser des tranchées de drainage; en outre, on projette un «Combine» de drainage pour effectuer simultanément la fouille des tranchées, la pose des drains de poterie et le remblai des tranchées. Dans ce but, l'Institut Central a modifié l'excavateur de Sudan, largement employé en U. R. S. S.

En connexion avec les travaux gigantesques à exécuter dans le domaine de la mise en valeur des sols minéraux vierges, nombre de méthodes pour créer une couche arable épaisse sur ces sols, pour les introduire dans la rotation des cultures et pour en tirer des récoltes abondantes sont élaborées par différentes institutions. Lors de l'application des mesures intensives d'amélioration et avant tout des différents procédés de drainage, les travaux à poursuivre doivent avoir pour but d'une part, l'étude du rapport qui existe entre le régime des eaux dans les sols et les autres conditions qui y règnent; d'autre part, l'élaboration des méthodes propres à assurer la pérennité des drains taupe.

## 15. Mitteilungen aus dem Gebiete des Dränungsversuchswesens

Von

Otto Fauser, Stuttgart, Deutschland.

Seit meinem letzten Bericht, den ich vor zwei Jahren in Oxford erstattet habe (1), hat das Dränungsversuchswesen weitere erfreuliche Fortschritte gemacht. Ich kann darüber aus Berichten, die mir im Rahmen der internationalen Zusammenarbeit zugegangen sind und für die ich auch an dieser Stelle den verbindlichsten Dank aussprechen möchte, das folgende mitteilen. Die Mitteilungen sind in der Reihenfolge der Anfangsbuchstaben der beteiligten Länder geordnet.

Aus *Bayern* berichtet *Fr. Zink* (2), daß die genaue Untersuchung des auf dem Staatsgute *Weihenstephan* angelegten Dränversuchsfeldes eine ziemlich gleichmäßige *Bodenbeschaffenheit* ergeben hat. Der mittlere Gehalt an abschlämmbaren Teilchen unter 0,01 mm schwankt bei den vier gedränten Abteilungen zwischen 43,6% und 47,0% und der Gehalt an Bodenteilchen von 0,01—0,05 mm Korngröße zwischen 42,8% und 46,9%. Der mittlere Porenraum des natürlich gelagerten Bodens beträgt 40%. Das Versuchsfeld wird *zunächst* als *Wiese* genutzt. Den Beobachtungen wird das landwirtschaftliche Jahr vom 1. November eines Jahres bis zum 31. Oktober des folgenden Jahres zugrundegelegt. Dabei werden jeweils die 5 Monate November bis März als Wintermonate, die 7 Monate April bis Oktober als Sommermonate bezeichnet. Die *Witterungsverhältnisse* der beiden letzten Beobachtungsjahre waren für die Untersuchungen insofern günstig, als das landwirtschaftliche Jahr 1934/35 mit 643 mm ein trockenes, das Jahr 1935/36 mit 900 mm ein nasses Jahr war. Von den in den beiden Jahren gefallenen Niederschlägen entfielen auf die Wintermonate durchschnittlich 30,1%, auf die Sommermonate 69,9%. Die Niederschläge waren also in beiden Jahren sehr günstig verteilt.

In den *trockenen Sommermonaten* 1935 gestaltete sich der *Dränabfluß* wie folgt. In den Monaten April und Mai liefen die Drän-sammler sämtlicher Abteilungen. Ein tropfenweiser Abfluß dauerte noch bis Mitte Juni. Von Mitte Juni bis 28. Oktober war überhaupt kein Dränabfluß mehr vorhanden. Bei 82% der Messungen ergab sich, daß die Abflußmenge mit Zunahme der Strangentfernung kleiner wurde. So war z. B. im April und Mai 1935 das Verhältnis des Niederschlags zum Abfluß bei den verschiedenen Drärentfernungen das folgende:

Strangentfernung	April 1935	Mai 1935
12 m	1:0,65	1:0,17
15 m	1:0,61	1:0,15
21 m	1:0,48	1:0,14

Tafel 1

Die *Verdunstung* in den Sommermonaten 1935 war um 47 mm größer als die in dieser Zeit gefallenen Niederschläge. Dem Boden wurde daher in den Monaten Juni bis August Wasser entzogen. Die Bodenwasserverhältnisse gestalteten sich hierbei in der am weitesten gedränten Abteilung am günstigsten, so daß diese im Jahre 1934/35 weitaus die höchsten *Erträge* an Dürrfutter und Eiweiß lieferte.

Anders liegen die Verhältnisse *im nassen* landwirtschaftlichen Jahr 1935/36. Die monatlichen Niederschlags-, Verdunstungs- und Abflußverhältnisse sind in Tafel 2 zusammengestellt. Aus diesen Zahlenwerten ergibt sich die jährliche *Verdunstungshöhe* zu 492,5 mm. Davon treffen auf die Wintermonate 48 mm und auf die Sommermonate 444,5 mm. Die jährlichen *Abflußhöhen* betragen bei Abt. I 378 mm, bei Abt. II 358 mm und bei Abt. IV 259 mm. Davon entfallen auf die Sommermonate bei Abt. I 206 mm, bei Abt. II 189 mm und bei Abt. IV 156 mm. Da im landwirtschaftlichen Jahr 1935/36 900 mm Regen fielen, so ergibt sich nach Abzug der Jahresverdunstung und des in den einzelnen Abteilungen gemessenen unter- und oberirdischen Wasserabflusses die jährliche *Zunahme des Bodenwassergehaltes* in Abt. I zu 29 mm, in Abt. II zu 53 mm und in Abt. IV zu 107 mm. Für die Sommermonate mit einem Regenfall von 648 mm ergibt sich bei einer Verdunstungshöhe von 444,5 mm und den entsprechenden Abflußhöhen bei Abt. I eine Abnahme des Wassergehaltes von 3 mm und bei den Abt. II und IV eine Zunahme des Wassergehaltes von 17 mm und 47 mm. Bei diesen Bodenwasserverhältnissen hat nach den Ernteergebnissen für das Jahr 1935/36 die Abt. II mit 15 m Strangentfernung die höchsten *Erträge* an Heu und Grummet gebracht. Die geringsten Erträge an Dürrfutter und Eiweiß hat die ungedränte Fläche geliefert. Bei den übrigen Abteilungen besteht kein großer Unterschied im Ertrag. Aus der Zusammenstellung ergibt sich ferner, daß auch im Jahre 1935/36 die monatlichen Abflußwerte der einzelnen Abteilungen in der Regel mit der Zunahme der Strangentfernung abnahmen. Die *Spitzenwerte der Dränabflüsse* im landwirtschaftlichen Jahre 1935/36 sind in Tafel 3 zusammengestellt. Die Abflüsse mit 2 l/s/ha dauerten bis 20 Stunden, die mit 1,0 l/s/ha bis zu 49 Stunden.

In *Dänemark* hat *F. Thøgersen* seine Dränungsversuche fortgesetzt und neue Versuche über das Bedecken der Dränstränge im Sandboden mit Torfstreu, Dammerde und Sand, sowie über die Bekämpfung der Ockerbildung in Moordränungen eingeleitet.

Aus *Finnland* liegt ein Bericht von *L. Keso* (3) über Beobachtungen des Dränabflusses in Tonböden und in gefrorenen Böden vor, die er auf seinen Dränungsversuchsfeldern gemacht hat. Der Ver-



Monat	Nieder- schlag mm	Verdun- stung mm	Ober- irdischer Abfluß mm	Unterirdischer Abfluß auf Abteilung				Wassergehalt des Bodens									
				I (12 m)		II (15 m)		IV (21 m)		Zunahme und Abnahme in mm bei Abteilung IV							
				mm	mm	mm	mm	Z	A	Z	A	Z	A	Z	A		
1935 Nov.	27,6	10,62	—	3,38	4,93	3,29	13,60	—	—	12,05	—	13,69	—				
1935 Dez.	41,5	5,98	0,02	10,73	9,80	9,10	24,77	—	—	25,70	—	26,40	—				
1936 Jan.	80,7	9,26	0,04	77,55	74,20	67,48	—	6,15	—	—	2,80	3,92	—				
1936 Feb.	66,6	10,76	0,17	65,80	62,80	47,90	—	10,13	—	—	7,13	7,77	—				
1936 März	35,7	11,34	0,007	14,80	15,80	15,70	9,553	—	—	8,553	—	8,653	—				
Wintermonate	252,1	47,96	0,237	172,26	167,53	103,47	47,923	16,28	46,303	9,93	60,433	—	—				
1936 April	49,7	30,94	0,02	18,10	13,9	11,6	0,640	—	7,14	—	7,140	—	—				
1936 Mai	66,2	68,68	0,013	0,31	0,7	0,7	—	2,803	—	—	3,193	—	3,193				
1936 Juni	173,3	108,20	0,05	109,97	102,4	86,6	—	44,92	—	—	37,350	—	21,55				
1936 Juli	116,7	73,54	0,125	12,03	11,3	11,2	31,005	—	31,735	—	—	31,835	—				
1936 Aug.	74,2	87,60	0,05	21,80	21,0	15,3	—	35,25	—	—	34,450	—	28,75				
1936 Sept.	106,8	54,40	0,09	16,80	15,2	12,3	35,51	—	37,110	—	40,010	—	—				
1936 Okt.	61,0	21,18	0,024	26,58	24,2	18,2	13,216	—	15,596	—	21,596	—	—				
Sommermon.	647,9	444,54	0,372	205,59	188,7	155,9	80,371	82,973	91,581	74,993	100,581	53,493	—				
Jahr 1935/36	900,0	492,50	0,609	377,85	358,23	259,37	128,294	A = 2,602 mm		Z = 16,588 mm		Z = 47,088 mm					
								99,253 mm		137,884 mm		84,923 mm					
							Z = 29,041 mm	Z = 52,961 mm		Z = 107,521 mm		53,493					

Tafel 2

fasser hat festgestellt, daß die Durchlässigkeit gedränkter Tonböden, auch wenn sie feucht sind, außerordentlich groß sein kann, und daß die Menge des im Winter aus den Dränen abfließenden Wassers in genauer Abhängigkeit von der äußeren Lufttemperatur steht. Die Versuchsfelder besitzen selbstschreibende Regen- und Dränabflußmesser. Als Beispiele werden Beobachtungen an einem fetten Tonboden angeführt, der in Finnland als am wenigsten durchlässig gilt. Sie erstrecken sich auf die Woche vom 12.—19. November 1934, in der im ganzen 24,1 mm Regen fielen. Der Herbst 1934 war sehr niederschlagsreich und kühl gewesen und die Äcker waren infolgedessen zur Beobachtungszeit feucht. Nach den Aufzeichnungen der Selbstschreiber änderte sich die abfließende Wassermenge je nach dem Niederschlag; sie stieg in vier Stunden auf 1,6 l/s/ha und betrug sogar einundeinhalb Tage lang 1,3 l/s/ha. Beim Entwurf von Dränungen werden die Röhren in Finnland im allgemeinen für eine Wassermenge

Niederschlag mm	Tag	Dränabfluß l s/ha	Abflußdauer Stunden
Tauwetter	31. Januar	6,2	$\frac{1}{2}$
22,5	1. Februar	5,2	1
26,5	4. und 5. Juni	4,5	13 $\frac{1}{2}$
51,9	6. Juni	8,3	$\frac{1}{2}$
15,1	7. Juni	3,1	6 $\frac{1}{4}$
23,0	11. Juni	6	$\frac{1}{2}$
20,3	2. November	4	1 $\frac{1}{2}$

Tafel 3

von 0,65 l/s/ha berechnet; in Schweden hält man sogar 0,50 l/s/ha für ausreichend. Nach obigem ist also fetter Tonboden auch in feuchtem Zustande fähig, das Wasser viel rascher abzuleiten, als es vom Standpunkte der Kultur aus notwendig wäre. Bei heftigem Regen beginnt auch bei diesen Böden schon nach etwa einer halben Stunde eine beträchtliche Wassermenge durch die Dränzüge abzufließen. Als Beispiele dafür, wie rasch derartige Tonböden das Wasser ableiten, werden zwei Versuche angeführt, bei denen die Dränabflußöffnungen künstlich verstopft wurden. An beiden Stellen war der Boden fetter Ton und fast eben. Nach der Verstopfung der Abflußöffnungen entstanden auf den Äckern große, verhältnismäßig tiefe Wasserlachen. Als die Abflußöffnungen wieder freigegeben wurden, stürzte das Wasser plötzlich aus ihnen heraus und nach etwa einundeinhalb Stunden waren sämtliche Lachen wieder verschwunden. Verfolgt man im Winter den Wasserabfluß aus den Dränsammeln, so ist zu beobachten, daß die Wasserabfuhr bei anhaltendem Frost allmählich ins Stocken gerät, beim Eintritt von Tauwetter aber sogleich wieder zunimmt. Die gute Durchlässigkeit gefrorenen Bodens wird an einem Meßstreifen aus der Frühjahrswoche vom 16.—22. April 1935 nachgewiesen, wo das Wetter andauernd schön war und am Tage Sonnenschein, bei Nacht leichter Frost herrschte. Die Temperatur 2 m über der Erdoberfläche schwankte zwischen + 16,0° und — 4,9° C, die Temperatur

am Erdboden um 21 Uhr zwischen  $0^{\circ}$  und  $-3,8^{\circ}$  C. Wie aus dem Meßstreifen zu ersehen ist, wurde der Wasserabfluß an jedem Tage kurz vor 12 Uhr lebhaft und blieb so bis 24 Uhr. Am 16. April z. B. flossen aus der Abflußöffnung vier Stunden lang 0,67 l/s/ha Wasser ab, also etwas mehr als die Wassermenge, für welche die Röhren berechnet waren. Auch die übrigen Meßstreifen zeigen, daß schon verhältnismäßig unbedeutendes Tauwetter mitten im Winter den Wasserabfluß erheblich steigert.

Für das von *B. Ramsauer* bei Bruck i. P. in *Österreich* angelegte Dränversuchsfeld *Fischhorn*, über das ich schon in Oxford berichtet habe (1), gibt *J. Donat* (4) eine Wassermengendauerlinie des Dränabflusses. Aus dieser geht hervor, daß in dem Versuchsfeld, das aus schwerem Lehm- und Tonboden besteht, im Durchschnitt der beiden Jahre 1928 und 1932 nur an 166 Tagen ein Dränabfluß zu verzeichnen war. Hiervon entfallen 116 Tage, das sind 70 %, auf die Kleinstwasserführung von 0 bis 0,1 l/s/ha. Mit der Überschreitung dieses Wertes geht die Häufigkeit der übrigen Abflußgruppen (0,1—0,2, 0,2—0,3 usw. bis 0,5—0,6 l/s/ha) plötzlich auf je 7—10 Tage zurück. Ein Dränabfluß von 0,65 l/s/ha wurde nur an 9 Tagen erreicht oder überschritten. Der gemessene Höchstabfluß der Versuchsdränung erreichte einen Wert von 6,0 l/s/ha bei einer nur ganz kurzen Abflußdauer.

*St. Bac* (5) berichtet über die Ergebnisse von Beobachtungen, die in den Jahren 1926—1931 auf dem Dränungsversuchsfeld der landwirtschaftlichen Versuchsstation Kościele in der Wojewodschaft Lodz in *Polen* ausgeführt wurden. Das Dränungsversuchsfeld umfaßt eine Fläche von 16 ha mit 9 verschieden weit und tief gedränten und zwei ungedränten Abteilungen. Zwei Abteilungen sind als Durchlüftungsdränungen ausgebildet. Das mittlere Geländegefälle beträgt 1,9 %. Die Dränabteilungen sind überwiegend als Längsdränungen ausgeführt. Nach den in der Schrift enthaltenen vier Angaben über die Kornzusammensetzung der oberen Bodenschichten scheint das Versuchsfeld bis zu 0,45 m Tiefe aus lehmigem Sand mit 11—14 % abschlämmbarer Teilchen unter 0,01 mm zu bestehen. Aus dem Untergrund ist nur eine einzige Bodenprobe angeführt, nämlich ein sandiger Lehm mit 28 % abschlämmbarer Teilchen aus 1,05—1,10 m Tiefe. Die Fruchtfolge des Versuchsfeldes besteht aus Gerste, Winterweizen, Mischfutter und Zuckerrüben. In dem Bericht sind die Ernteergebnisse der ungedränten und der in Tiefen von 1,00 m, 1,25 m und 1,50 m mit 14 m, 16 m, 18 m und 20 m Strangentfernung gedränten Abteilungen enthalten. Hiernach haben im Durchschnitt der 6 Beobachtungsjahre die aus der Tafel 4 ersichtlichen Dräntiefen und Strangentfernungen für die genannten Fruchtarten die höchsten Ertragssteigerungen ergeben. Es scheint daher, daß unter den vorliegenden Verhältnissen die geringste Dräntiefe und die größten Strangentfernungen die beste Wirkung haben. Der mit der Durchlüftungsdränung durchgeführte Versuch war erfolglos.

Aus der *Tschechoslowakei* sind seit dem Kongreß in Oxford die Berichte über die Dränforschungsergebnisse der Jahre 1934 und 1935 eingegangen (6). Nachdem in den Jahren 1931 bis 1933 die Anzahl der Dränungsversuchsfelder verringert worden war, konnte im Jahre

Frucht	Korn- bzw. Wurzerlertrag		Ertragssteigerung		Dräntiefe m	Strang- ent- fernung m
	gedrängt dz/ha	ungedrängt dz/ha	dz/ha	%		
Gerste. . . .	33,36	26,14	7,22	27,6	1,25	16
Winterweizen	28,32	20,83	7,49	36,0	1,00	18
Mischfutter .	21,01	19,11	1,90	9,9	1,00	20
Zuckerrüben .	450,50	397,70	52,80	13,3	1,00	20

Tafel 4

1934 zu einer planmäßigen Durchführung der Forschungen an den bestgeeigneten und für diese Zwecke besonders ausgesuchten Versuchsfeldern geschritten werden. Die Zahl der im Betrieb befindlichen Drainungsversuchsfelder betrug im Jahre 1934 zwölf, im Jahre 1935 fünfzehn. Über die Ergebnisse dieser Forschungen ist auf die Vorträge Nr. 13 und 14 von *O. Solnař* und *J. Zavadil* sowie auf die Jahresberichte selbst zu verweisen. Hier muß ich mich des beschränkten Raumes halber damit begnügen, die Ernteergebnisse einer siebenjährigen Versuchsreihe der Dränforschungsstation *Skalice* anzuführen.

Dräntiefe	Dränabstand	Durchschnittswerte der Ernteunterschiede gegenüber der nichtgedrängten Teilfläche bezogen auf	
		7 Jahre für alle Gattungen der Feldgewächse	3 Jahre für Korn
1,2 m	6 m	19 %	35 %
1,2 m	8 m	27 %	13 %
1,0 m	6 m	19 %	25 %
1,0 m	8 m	25 %	19 %

Tafel 5

Diese besitzt neben einem nichtgedrängten Teil vier mit 1,0 m und 1,2 m Tiefe und mit Strangentfernungen von 6 m und 8 m gedränte Teile. Das Versuchsfeld hat einen Flächeninhalt von 1 ha, seine Meereshöhe beträgt 350 m, der mittlere Jahresniederschlag 920 mm. Der Boden ist tonhaltig bis tonig, mit einem Gehalte von 50—70% an abschlämmbaren Teilchen unter 0,01 mm. Die durchschnittlichen Ernteunterschiede der gedrängten Teilflächen gegenüber der nichtgedrängten im Zeitabschnitt 1928—1934 sind in Tafel 5 zusammengestellt. Nach dem siebenjährigen Durchschnitt der Ernteunterschiede bei verschiedenen Feldgewächsen wäre eine 1,2 m tiefe Dränung mit 8 m Strangentfernung am besten. Nach dem dreijährigen Durchschnitt der Ertragsunterschiede bei Korn hat eine 1,2 m tiefe Dränung mit 6 m Strangentfernung die günstigste Wirkung. Aus dem Gesamtergebnis der bisherigen Forschungen wird geschlossen, daß in den vorliegenden schweren Böden eine Strangentfernung von 8 m bei 1 m Dräntiefe genügt.

### Schrifttum.

1. Transactions of the Third International Congress of Soil Science, Oxford, England 1935, Vol. I, S. 388 und Vol. III, S. 247.
2. Berichte über die 10. und 11. Tagung des Deutschen Ausschusses für Kulturbauwesen am 27. März 1936 und am 18. März 1937 in Berlin. Der Kulturtechniker 1936 und 1937.
3. *L. Keso*. Beobachtungen über den Dränabfluß in Tonböden und in gefrorenen Böden. Mitteilung 4B der V. Hydrologischen Konferenz der Baltischen Staaten. Finnland, Juni 1936. Helsinki 1936.
4. *J. Donat*, Das Bruck-Zeller Moos, eine kulturtechnische Studie. Wasserwirtschaft und Technik 1935, S. 376.
5. *St. Bac*, Wyniki doświadczeń meljoracyjnych przeprowadzonych na polu doświadczalno-drenarskiem w Kościelcu w latach od 1925 do 1931. Warszawa 1936.
6. Sborník výzkumných ústavů zemědělských ČSR, Bd. 142 und 155. Prag, 1935 und 1936.

## 16. Verdunstungsmesser und Verdunstungsschreiber

Von

B. Ramsauer, Wien, Österreich.

Es gibt einige Verfahren, die für größere Einzugsgebiete aus gegebenen meteorologischen Daten die Verdunstungshöhe mit ziemlicher Genauigkeit errechnen lassen. Diese Tatsache enthebt uns jedoch keineswegs der Notwendigkeit, sowohl für größere Einzugsgebiete, wie insbesondere für die Ermittlung des Mikroklimas, die Verdunstung täglich nach Höhe und Verlauf festzustellen. Unentbehrlich sind solche Beobachtungen für das Dränungsversuchswesen, da ohne Kenntnis der Verdunstung der Wasserhaushalt des Versuchsgebietes nicht ermittelt werden kann. Unbestritten ist dieses Ziel am sichersten mit Lysimetern zu erreichen, weshalb zu jedem kulturtechnischen Versuchsfeld eine solche Anlage gehört.

Die allgemeine Verwendung von Lysimetern kommt natürlich nicht in Frage, weshalb zu Ersatz-Apparaten gegriffen werden muß. Von den vorhandenen Apparaten hat lediglich die *Wildsche Waage* weitere Verbreitung und Anerkennung gefunden. Ihre Aufstellung ist jedoch an Instrumentenhütten gebunden und daher für eine Massenverwertung ebensowenig geeignet, wie zur Ermittlung der Verdunstung unter ungestörten natürlichen Verhältnissen.

### *Verdunstungsmesser.*

Der Verfasser hat nun in dem Bestreben, hier Abhilfe zu schaffen, in Salzburg mit einem etwas abgeänderten *Mitscherlich*-Apparat durch mehrere Jahre Versuche angestellt und ihre Brauchbarkeit neuerdings bestätigt gefunden. Die Ergebnisse wurden 1936 veröffentlicht.<sup>1)</sup> Einzelne Mängel des Apparates gaben aber die Veranlassung, einen neuen Apparat zu konstruieren, dessen Verdunstungskörper Kugelform erhielt. Die Firma *Ganser*, Wien, hat den Apparat angefertigt.

Der Apparat besteht, wie aus Abb. 1 und 2 zu ersehen ist, aus folgenden drei Hauptteilen:

1. der Verdunstungskugel aus 5 mm starkem, gebranntem Ton mit der Kugelfassung aus Metall;
2. dem Aufsatzstück mit dem Saugrohr (Kupferrohr) zur Wassernachfuhr in die Kugel und
3. dem mit Millimeter-Einteilung versehenen Glaszylinder als Wasserbehälter.

Die Verbindung der Kugel, deren Oberfläche in Übereinstimmung mit der Auffangfläche des Regenmessers zu 400 cm<sup>2</sup> gewählt wurde,

<sup>1)</sup> Ramsauer, Verdunstungsmessungen. Wasserwirtschaft u. Technik, Wien 1936.

mit der Fassung ist durch ein wasser- und luftdichtes Bindemittel hergestellt. Die Tonkugel ist auf eine Saugspannung von 1,5 m geprüft.

Der Mittelteil des Aufsatzstückes, auf den die Kugel mit einer Gummizwischenlage luft- und wasserdicht aufgeschraubt wird, hat unten eine Bohrung zur Führung des Saugrohres und 2 Luftlöcher, die

der Luft das Entweichen beim Füllen des Apparates ermöglichen. Die Luftlöcher werden durch Gummidichtung und Deckring abgedeckt und mit der aufgeschraubten Verschlußkappe verschlossen. Gleichzeitig wird mit der Verschraubung das Saugrohr festgemacht, das während des Verschraubens bis zum am Rohr angebrachten Saugrohranschlag an die Verschlußkappe anzuschieben ist. Damit wird das Saugrohr so fixiert, daß seine Ausflußöffnungen genau in den Kugelmittelpunkt zu liegen kommen. Unterhalb der Ausflußöffnungen ist die Rohrwand konisch abgenommen, um eine Ventilkugel aufnehmen zu können. Diese verschließt bei einem durch stärkeren Regen auf die Wasserfüllung der Kugel ausgeübten Druck das Kupferrohr und verhindert den Eintritt von Regenwasser in den Apparat.

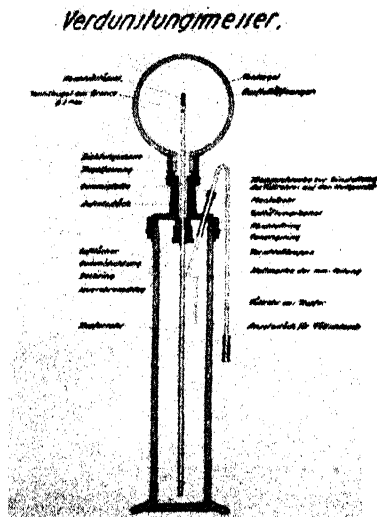


Abb. 1

hindert den Eintritt von Regenwasser in den Apparat.

Das Aufsatzstück wird mit dem Verschraubungsring (Überwurfmutter!) auf den Fassungsring des Glaszylinders aufgeschraubt und so befestigt. Um beim Einfüllen des Wassers in den zusammengesetzten Apparat das Entweichen der Luft aus dem Glaszylinder bzw. um den Luftzutritt in denselben zu ermöglichen, sind in der Verschraubung Luftkanäle ausgespart.

Die Platte des Aufsatzstückes trägt ein schiefgestelltes Mantelrohr, dessen lamellenartig geformtes oberes Ende durch eine etwas konisch ausgebildete Schraubenmutter verengt werden kann. Diese Vorrichtung dient dazu, das im Mantelrohr verschiebbare Einfüllrohr in einer solchen Stellung festzuschrauben, daß automatisch auf die Nullmarke der Teilung aufgehebert wird.

### *Bedienung des Apparates.*

Zunächst werden Kugel und Aufsatzstück durch Abschrauben des Verschraubungsringes vom Glaszylinder, dann die Kugel vom Aufsatzstück abgenommen. Hierauf füllt man die Tonkugel mit destilliertem, durch Erwärmen entlüftetem Wasser (Osmosewasser!), indem man entweder die Kugel bis zur Fassung in das Wasser taucht und dieses in die Kugel saugt, oder indem man — was einfacher ist —

in die Kugel Wasser eingießt. Im letzteren Falle muß die gefüllte Kugel zur vollen Porensättigung zunächst eine halbe Stunde stehen gelassen werden. Nach neuerlicher Auffüllung bis zum Halsrande wird nun auf die Kugel das Aufsatzstück mit der Überwurfmutter, aber ohne Saugrohr, aufgeschraubt. Das Saugrohr wird mit dem Schlauch verbunden und mittels Trichters Wasser zugeleitet (Verschlußkappe, Deckung und Gummidichtung über das Saugrohr geschoben). Unter ständigem Wasserausfluß wird das Saugrohr in das Aufsatzstück eingeführt und nun so lange Wasser zugeleitet, bis nach Vertreibung der Luft aus den Apparatehohlteilen Wasser durch die Luftlöcher entweicht. Unter weiterer Wasserzufuhr werden Gummidichtung und Deckring in die richtige Lage gebracht, wird die Verschlußkappe langsam zugeschraubt und gleichzeitig das Saugrohr mit dem Anschlag bis an diese herangeschoben. Nach festem Anziehen der Kappe ist die Füllung richtig durchgeführt. Nach Abnahme des Schlauches vom Saugrohr wird das Ganze sofort auf den mit Wasser bis zum 1-mm-Strich aufgefüllten Glaszylinder aufgesetzt und der Verschlußring festgeschraubt. Daran schließt sich das richtige Einstellen des Füllrohres, das in der richtigen Lage festgeklemmt wird, das Auffüllen durch das Füllrohr bis über die Nullmarke und das Abhebern auf die Nullstellung des Wasserspiegels. Damit ist der Apparat gebrauchsfertig.

Das durch Verdunstung der Kugel entzogene Wasser wird durch das Saugrohr aus dem Glaszylinder nachgefüllt; die Höhe der Verdunstung kann an der Verdunstungsmillimeter-Einteilung abgelesen werden. Die Ablesung erfolgt am unteren Meniskusrand.

Der Apparat wird im Freien auf einer Holzsäule so aufgestellt, daß der Kugelläquator in der gewünschten Höhe liegt. Es empfiehlt sich, ihn zum Schutze gegen zu starke Bestrahlung und Beschädigung in ein weiß oder grau gestrichenes und versperrbares, an der Säule befestigtes Blechkästchen mit Kegeldach zu stellen, aus dem die Kugel hervorragt. Die Ablesung erfolgt täglich mindestens einmal, besser aber früh, mittags und abends, die Nachfüllung jedoch nur morgens. Es empfiehlt sich, bei neu aufgestellten Apparaten nach 1—2 Tagen, ab und zu natürlich auch später, durch leichtes Schütteln des Apparates zu prüfen, ob die Kugel vollgefüllt ist oder nicht. Im letzteren Falle ist der Apparat nachzufüllen und sind die Ablesungen auszuschneiden, weil sie unrichtig sind.

Die angestrebte Oberflächengröße der Kugel von  $400\text{ cm}^2$  wird natürlich nicht theoretisch genau erreicht. Die wirkliche Oberfläche muß durch wiederholtes Abmessen und Mitteln des Durchmessers errechnet, davon die durch die Kugelfassung verdeckte Kalotte abgezogen und schließlich der Reduktionsfaktor ermittelt werden, der jeder Kugel beigegeben ist. Die Ablesungen am Apparat sind also mit dem Reduktionsfaktor zu multiplizieren, um die vergleichbaren und auswertbaren Verdunstungshöhen zu erhalten.

#### *Verdunstungsschreiber.*

Um den täglichen Verlauf der Verdunstung festlegen zu können, hat der Verfasser einen Verdunstungsschreiber bauen lassen, den auch



die Firma *Ganser*, Wien, unter Verwertung ihrer Regenschreiber-Konstruktion anfertigte.

Der Verdunstungsapparat ist derselbe wie beim Verdunstungsmesser. Die Schreibvorrichtung entspricht völlig der des Regen-

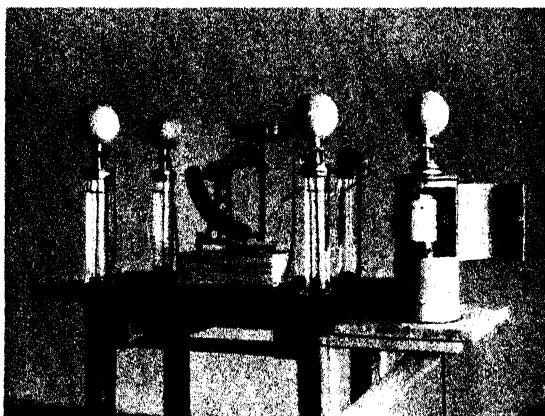


Abb. 2

messers, nur mit dem Unterschied, daß die Nulllinie am oberen Rande des Schreibstreifens liegt. Sie besteht aus einer Registriertrommel von 80 mm Registrierhöhe, die mittels einer 8tägigen Uhr täglich eine Umdrehung macht. An der Trommel liegt eine Schreibfeder, die an der Führungsstange eines Schwimmers be-

festigt ist. Der Schwimmer befindet sich in einem als Wasserbehälter dienenden Metallgefäß, dessen Durchmesser je nach Bedarf so bemessen ist, daß die Schreibhöhe von 80 mm für eine tägliche Verdunstung von je maximal 5 oder 10 mm ausreicht. Nach genauen Ermittlungen entspricht bei den verwendeten Apparaten und Kugeln 1 mm Niederschlag fast genau 7,5 mm auf dem Papier. Der Apparat ist in einem Blechgehäuse untergebracht, aus dem die Kugel mit dem Aufsatzstück herausragt. Das Saugrohr reicht durch eine mit einer Schraube verschließbaren Öffnung in den Wasserbehälter.

Die Wasserfüllung des Apparates erfolgt genau so wie beim Verdunstungsmesser; die Vorfüllung des Schwimmergefäßes geschieht mit Schlauch und Trichter durch die Saugrohröffnung, wobei der Schwimmer nur bis zur 1-mm-Linie am Schreibstreifen hochsteigen darf. Nach dem Aufsetzen des Apparates wird durch das unten aus dem Gehäuse ragende Füllrohr bis über die Nulllinie aufgefüllt und abgehebert. Stellt sich die Feder nicht genau ein, so ist sie nach Lockerung der Befestigungsschraube an der Schwimmerstange auf die Nulllinie zu schieben und die Schraube wieder anzuziehen. Schließlich ist die Trommel im entgegengesetzten Sinne des Uhrzeigers so lange zu drehen, bis die Feder auf der richtigen Zeitlinie liegt. Damit ist der Schreiber gebrauchsfertig. Die Aufstellung erfolgt wie früher.

Bei der Auswertung der Verdunstungslinien sind die gefundenen Zahlen mit dem Reduktionsfaktor zu multiplizieren.

# 17. Untersuchung der Dränungsfolgen

Von

Prof. Dr. Ing. Adam Rożański, Kraków, Polen.

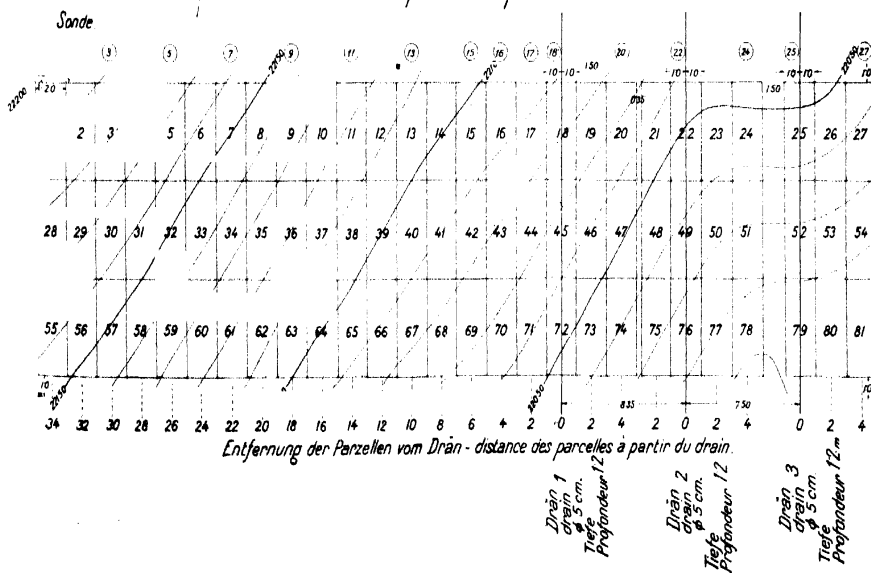
Zwecks Untersuchung der Dränungsfolgen habe ich im Jahre 1932 Versuchspartzellen auf einem Felde des Gutes Modlnica, Bezirk Kraków, angelegt. Das Gut ist 11 km nordwestlich von Kraków, in 217 m Seehöhe gelegen. Der mittlere Jahresniederschlag beträgt in Kraków 747 mm und die mittlere Jahrestemperatur  $+7,8^{\circ}$  C. Das Feld hat eine Neigung von ungefähr 4 % gegen Nordosten. Der Untergrund besteht aus Löß.

Das Feld ist im Jahre 1922 teilweise gedränt worden. Die Sauger bestehen aus Röhren mit 5 cm Durchmesser; sie sind in Abständen von 8 m und in einer Tiefe von ungefähr 1,20 m verlegt worden. Die Versuchspartzellen sind 5 m lang und 2 m breit, haben somit 10 m<sup>2</sup> Fläche. Die 27 Partzellen des gedränten Teiles waren ursprünglich in drei Reihen übereinander so angeordnet, daß je drei Partzellen auf

Fig 1.

Modlnica

Situation der Versuchspartzellen.  
Situation des parcelles experimentales.



jedem der drei Sauger und je neun in Abständen von diesen lagen, die einem Viertel und der Hälfte der Saugerentfernung entsprachen. Ferner waren auf dem ungedrängten Teile des Feldes im ganzen 12 Versuchspartzen vorhanden.<sup>1)</sup>

Im Jahre 1933 wurde die Zahl der Parzellen auf 81 vergrößert, nämlich auf 30 im gedrängten und auf 51 im ungedrängten Felde (Fig. 1).

In der Tabelle I sind die Monatsniederschläge in Modlnica und die mittleren Monatstemperaturen in der nächsten meteorologischen Station Mydlniki für die Vegetationsperioden 1931/1932 bis 1935/1936 zusammengestellt.

Tabelle I.

Monat	1931/1932		1932/1933		1933/1934		1934/1935		1935/1936	
	Nieder- schlag	Tempera- tur	Nieder- schlag	Tempera- tur	Nieder- schlag	Tempera- tur	Nieder- schlag	Tempera- tur	Nieder- schlag	Tempera- tur
	mm	° C	mm	° C	mm	° C	mm	° C	mm	° C
9	115,8	+10,4	41,6	+15,8	68,1	+12,4	63,6	+14,6	70,2	+14,5
10	48,5	+ 6,6	45,5	+ 9,4	43,3	+ 8,1	77,3	+ 9,5	76,4	+ 9,5
11	28,0	+ 1,6	20,6	+ 3,0	35,9	+ 2,0	65,9	+ 5,3	28,5	+ 3,1
12	31,2	— 0,9	7,9	+ 0,7	9,7	— 6,0	25,3	+ 2,0	19,4	+ 0,6
1	25,0	— 1,2	9,7	— 7,4	8,4	+ 1,9	11,6	+ 1,9	22,8	+ 1,4
2	12,3	— 6,1	35,9	— 0,9	11,5	0,0	32,4	+ 0,2	39,9	+ 2,4
3	15,4	— 1,8	5,9	+ 2,6	30,3	+ 5,5	21,3	+ 5,5	21,3	+ 5,2
4	16,1	+ 7,5	21,5	+ 4,8	5,2	+11,1	64,9	+11,1	35,4	+ 7,6
5	67,8	+16,6	30,5	+11,9	26,7	+14,3	62,5	+14,5	15,5	+15,2
6	60,2	+15,0	160,0	+14,5	64,6	+16,1	47,5	+16,2	71,9	+16,3
7	61,0	+20,1	105,0	+18,1	183,4	+17,7	89,0	+17,7	181,1	+19,4
8	67,1	+18,4	24,2	+16,4	67,2	+17,3	119,6	+17,3	89,6	+15,5
9	41,6	+15,8	68,1	+12,4	63,6	+14,6	70,2	+14,6	78,2	+11,9

Aus diesen Beobachtungen ist folgendes ersichtlich:

1. In der Periode 1931/32 war der Herbst normal naß, aber kälter als normal, der Winter mittelmäßig naß und nicht zu kalt, der Frühling mit Ausnahme des trockenen Aprils normal naß und kalt, der Sommer dagegen angemessen naß, mit zu nassem September, aber eher kalt.

2. Im Jahre 1932/33 war der Herbst zu trocken, aber mittelmäßig kalt, der Winter angemessen trocken und angemessen kalt, der Frühling mit Ausnahme des zu nassen Junis eher zu trocken und kalt, der Sommer dagegen mit Ausnahme des zu trockenen Augusts angemessen naß und zu kalt.

<sup>1)</sup> A. Rożański, Badania skutków drenowania gruntów (Untersuchung der Dränungsfolgen) mit deutscher und französischer Zusammenfassung, Lwów 1933.

Otto Fauser, Mitteilungen aus dem Gebiete des Dränungsversuchswesens. Transactions of the Third Congress of Soil Science. Oxford, 1935. Vol. I, S. 388.

3. Im Jahre 1933/34 war der Herbst zu trocken aber kälter als normal, der Winter mittelmäßig naß aber mild, der Frühling mit Ausnahme des normal nassen Junis eher zu trocken und kalt, der Sommer zu naß und eher kalt.

4. Im Jahre 1934/35 war der Herbst naß und warm, der Winter zu trocken und zu mild, der Frühling mittelmäßig naß und kalt, der Sommer normal naß mit zu nassem August und eher zu kalt.

5. Im Jahre 1935/36 war der Herbst trocken mit nassem Oktober und mittelmäßig kalt, der Winter trocken und mild, der Frühling mit Ausnahme des nassen Junis trocken (besonders im Mai) und kalt, der Sommer naß (besonders im Juli) und zu kalt.

Auf dem Versuchsfeld wurde von der Gutsverwaltung folgende Fruchtfolge eingehalten: Klee, Weizen, Roggen, Hafer, Hackfrüchte, Gerste mit Klee. Zu den Hackfrüchten wurde Stalldünger gegeben, sonst in guten Jahren normaler Handelsdünger; in den letzten Jahren

**Tabelle II.**

Modlnica

1932

Behaarter Weizen

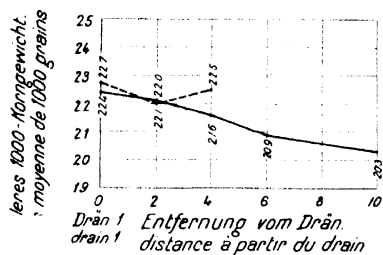
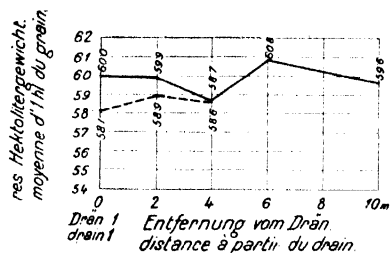
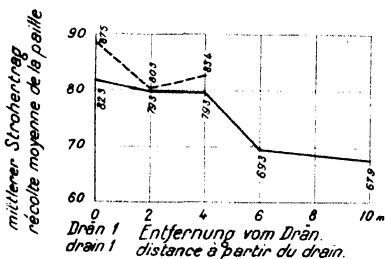
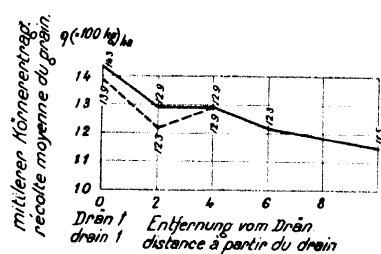
Ent- fer- nung vom Drän  m	Par- zellen- Nr.	Gewicht q (=100 kg) / ha				Hektoliter- gewicht kg		1000- Körnergewicht g	
		Körner		Stroh		einzel	durch- schnitt- lich	einzel	durch- schnitt- lich
		einzel	durch- schnitt- lich	einzel	durch- schnitt- lich				
10	13	11,2		65,5		58,7		20,5	
	40	12,2	11,5	63,5	67,9	60,5	59,6	19,7	20,3
	67	11,2		74,8		59,7		20,7	
6	15	14,0		74,7		60,8		20,2	
	42	12,0	12,3	63,2	69,3	63,7	60,8	21,4	20,9
	69	10,9		70,1		58,0		21,0	
4	16	14,3		92,4		58,5		22,0	
	43	12,5	12,9	76,0	79,3	59,7	58,7	21,5	21,6
	70	11,9		69,6		57,8		21,3	
2	17	11,7		79,8		58,5		22,2	
	44	12,8	12,9	79,7	79,6	62,1	59,9	21,8	22,1
	71	14,1		79,4		59,2		22,3	
0	18	13,2		79,3		58,7		21,8	
	45	13,5	14,3	82,0	82,3	60,0	60,0	22,0	22,4
	72	16,1		85,6		61,2		23,3	
2	19	10,9		74,1		59,3		22,2	
	46	11,1	11,9	82,6	76,8	58,9	59,1	21,5	22,0
	73	13,7		73,8		59,1		22,2	
4	20	10,7		81,8		57,2		22,3	
	47	11,1	12,0	80,6	79,8	59,3	58,7	22,3	22,3
	74	14,1		76,9		59,6		22,2	

Ent- fer- nung vom Drän m	Par- zellen- Nr.	Gewicht q (=100 kg) / ha				Hektoliter- gewicht kg		1000- Körnergewicht g	
		Körner		Stroh		einzeln	durch- schnitt- lich	einzeln	durch- schnitt- lich
		einzeln	durch- schnitt- lich	einzeln	durch- schnitt- lich				
0	22	10,5		79,4		55,5		22,4	
	49	12,8	12,7	92,2	88,0	54,2	55,0	21,9	21,8
	76	14,8		92,4		55,3		21,1	
2	23	12,8		80,7		58,0		21,5	
	50	10,9	11,7	70,8	77,2	56,3	57,5	20,6	21,8
	77	11,4		80,1		58,3		22,8	
4	24	12,4		79,1		59,8		22,7	
	51	12,9	12,9	67,7	80,3	58,1	58,0	21,1	22,1
	78	13,1		94,1		56,0		22,6	
0	25	15,9		92,8		61,5		23,4	
	52	13,2	14,6	88,3	92,3	58,1	59,3	24,9	23,9
	79	14,8		95,9		58,3		23,4	
2	26	12,1		73,9		61,3		22,6	
	53	13,1	13,2	90,6	87,0	59,0	60,2	21,4	22,1
	80	14,3		96,4		60,2		23,1	
4	27	16,1		85,4		62,6		24,0	
	54	12,6	14,0	91,1	90,1	59,5	59,2	22,2	23,0
	81	13,2		93,8		55,5		22,7	

konnte jedoch wegen der Wirtschaftskrisis kein Handelsdünger mehr gegeben werden.

Im Jahre 1931/32 war das Feld mit behaartem Winterweizen angebaut. Die auf je 1 ha, 1 hl und 1000 Körner umgerechneten Ernteergebnisse sind in der Tabelle II zusammengestellt. In der Fig. 2 ist der Zusammenhang zwischen den mittleren Erträgen und der Entfernung der Parzellen vom Drän graphisch dargestellt. Der Weizen wurde von der Rostkrankheit (Schwarzrost — *Puccinia graminis*) befallen. Aus den Ergebnissen der Untersuchungen können folgende Schlußfolgerungen gezogen werden. Die Kurve des Zusammenhanges zwischen der Größe der Körnererträge und der Entfernung der linksseitigen Parzellen vom letzten Drän fällt stark in der Entfernung von 4—6 m vom Drän; der Saugerabstand sollte daher 8—12 m betragen. Auf dem gedränten Teile des Feldes kommt der größere Einfluß der beiden Dräne noch in 4 m Entfernung zum Ausdruck, so daß ein mehr als 8 m betragender Saugerabstand ratsam erscheint. Der Strohertrag fällt stark in der Entfernung von 4—6 m. Auf den über dem Drän gelegenen Parzellen wurden mehr und schönere Körner geerntet als auf den ungedränten, immerhin war das Hektolitergewicht der Körner von den gedränten und ungedränten Parzellen fast gleich. Durch die Rostkrankheit ist der Körnerertrag um 40 bis 60% und das Gewicht von 1000 Körnern um 40% im Verhältnis zum normalen Ertrage erniedrigt worden. Der Strohertrag ist nicht schlechter als

Zusammenhang zwischen Ernteertrag und der Entfernung der Parzellen vom Drän.  
Rapport entre la récolte et la distance des parcelles à partir du drain.



— auf ungedräntem Felde (links vom Drän 1).  
sur le champ non-drainé (à gauche du drain 1)  
--- auf gedräntem Felde (rechts vom Drän 1)  
sur le champ drainé (à droite du drain 1)

in guten Jahren. Die Dränung hat den Körnerertrag vor einer Verschlechterung infolge der Rostkrankheit nicht bewahrt, jedoch war eine Milderung der Folgen der Krankheit unverkennbar.

Im Jahre 1932/33 war Petkuser Roggen angebaut. Die Erträge sind in der Tabelle III zusammengestellt und der Einfluß der Dräne ist in der Fig. 3 dargestellt. Auf dem gedrännten Teile des Feldes fiel der Ertrag schon in 4m Entfernung vom Drän stark und war der Durchschnitt viel größer als auf dem ungedrännten, es war nämlich der Körnerertrag auf dem gedrännten Teil 29,3 q/ha und auf dem ungedrännten 22,7 q/ha, der Strohertrag 57,3 bzw. 49,4 q/ha. Das Hektolitergewicht der Körner und das 1000-Körnergewicht erwiesen sich für die gedrännten und ungedrännten Parzellen im Durchschnitt fast gleich. Die Trockenheit des Winters und des Frühlings war die Ursache, daß der Einfluß der Dränung sich nur in einer besseren Ausgleichung der Erträge und in größeren Durchschnittserträgen auf den gedrännten Parzellen erwies als auf den ungedrännten.

Tabelle III.

Modnica

1933

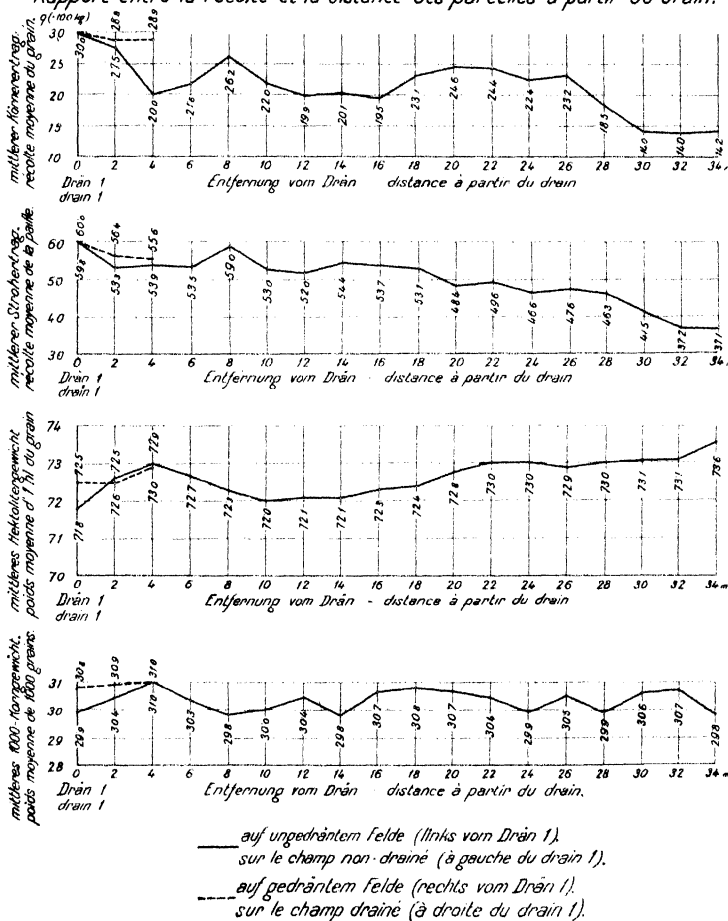
Petkuser Roggen

Ent- fer- nung vom Drän  m	Par- zellen- Nr.	Gewicht q (=100 kg) / ha				Hektoliter- gewicht kg		1000- Körnergewicht g	
		Körner		Stroh		einzel	durch- schnitt- lich	einzel	durch- schnitt- lich
		einzel	durch- schnitt- lich	einzel	durch- schnitt- lich				
34	1	14,15		37,05		74,0		29,4	
	28	14,46	14,20	37,74	37,10	73,9	73,6	30,4	29,8
	55	14,00		36,50		72,9		29,6	
32	2	13,10		35,30		73,0		29,5	
	29	14,42	14,00	37,78	37,20	73,1	73,1	30,8	30,7
	56	14,48		38,82		73,2		31,8	
30	3	14,02		42,98		72,5		30,6	
	30	14,30	14,00	43,90	41,47	72,9	73,1	30,1	29,9
	57	13,68		37,52		73,9		29,7	
28	4	19,10		48,90		73,0		30,0	
	31	18,41	18,50	46,79	46,30	73,0	73,0	30,1	29,9
	58	18,01		43,19		73,1		29,7	
26	5	28,84		49,16		73,1		30,5	
	32	21,68	23,24	47,82	47,59	73,1	72,9	30,8	30,5
	59	19,20		25,80		72,6		30,3	
24	6	27,13		47,87		73,3		29,7	
	33	19,25	22,41	45,75	46,59	73,2	73,0	30,3	29,9
	60	20,85		46,15		72,5		29,8	
22	7	18,30		41,70		73,4		30,5	
	34	25,19	24,43	52,01	49,64	73,0	73,0	31,0	30,4
	61	29,80		55,20		72,6		29,8	
20	8	32,85		54,15		72,3		30,7	
	35	20,85	24,56	45,15	48,44	73,0	72,8	30,6	30,7
	62	19,98		46,02		73,3		30,8	
18	9	30,47		56,53		71,7		30,3	
	36	26,04	23,11	52,46	53,12	72,4	72,4	30,9	30,8
	63	12,83		50,37		73,1		31,1	
16	10	19,04		52,16		72,1		31,1	
	37	23,96	19,54	56,24	53,66	72,3	72,3	30,4	30,7
	64	15,62		52,58		72,4		30,5	
14	11	15,73		52,47		72,1		29,7	
	38	19,58	20,10	53,62	54,37	72,1	72,1	29,9	29,8
	65	24,99		57,01		72,3		29,9	
12	12	20,66		52,34		71,7		29,3	
	39	19,56	19,85	51,44	51,95	72,3	72,1	30,7	30,4
	66	19,34		52,06		72,4		31,1	
10	13	22,07		52,93		71,8		29,9	
	40	22,73	22,03	54,27	53,04	72,2	72,0	30,4	29,8
	67	21,29		51,91		72,0		30,0	

Ent- fer- nung vom Drän  m	Par- zellen- Nr.	Gewicht q (=100 kg) / ha				Hektoliter- gewicht kg		1000- Körnergewicht g	
		Körner		Stroh		einzel	durch- schnitt- lich	einzel	durch- schnitt- lich
		einzel	durch- schnitt- lich	einzel	durch- schnitt- lich				
8	14	25,63		60,37		71,9		28,9	
	41	23,91	26,18	57,29	58,89	72,5	72,3	30,4	29,8
	68	29,00		59,00		72,4		30,0	
6	15	23,02		56,98		72,4		29,9	
	42	20,16	21,56	49,84	53,41	73,1	72,7	30,9	30,3
	69	21,50		53,70		72,8		30,0	
4	16	20,11		53,09		73,0		30,9	
	43	19,00	20,00	53,20	53,67	73,3	73,0	31,5	31,0
	70	20,89		55,31		72,6		30,6	
2	17	26,01		52,19		73,1		30,0	
	44	30,73	27,51	57,27	53,29	72,4	72,6	30,7	30,4
	71	25,79		50,41		72,5		30,4	
0	18	30,24		60,76		72,0		29,1	
	45	29,01	30,00	59,49	59,79	71,6	71,8	30,3	29,9
	72	30,87		59,13		71,5		30,2	
2	19	23,34		52,66		71,0		29,6	
	46	26,10	25,14	52,40	52,52	72,2	71,5	30,7	30,2
	73	25,98		52,52		71,3		30,3	
4	20	23,18		52,82		72,0		29,6	
	47	25,08	24,12	53,42	53,38	72,3	72,3	30,8	30,6
	74	24,10		53,90		72,6		31,4	
2	21	31,14		58,86		72,9		30,5	
	48	24,72	27,98	58,48	59,15	72,4	72,5	31,2	30,8
	75	28,08		60,12		72,3		30,6	
0	22	26,77		58,23		72,4		30,6	
	49	29,92	28,92	62,08	60,81	72,9	72,7	30,9	30,9
	76	30,07		62,13		72,7		31,2	
2	23	31,01		57,19		73,5		30,4	
	50	30,45	31,05	55,75	57,58	72,4	72,9	31,0	31,0
	77	31,69		59,81		72,9		31,5	
4	24	31,03		56,37		73,1		30,4	
	51	32,39	31,43	57,61	54,54	73,2	73,1	31,0	30,9
	78	30,87		49,63		72,9		31,5	
0	25	31,04		56,16		73,5		31,3	
	52	30,96	32,12	60,04	59,41	72,9	73,1	32,0	31,7
	79	34,36		62,04		73,0		31,8	
2	26	32,10		57,40		73,5		30,8	
	53	28,80	30,95	54,20	56,42	73,2	73,0	31,7	31,6
	80	31,95		57,65		72,4		32,2	
4	27	30,70		55,80		73,9		31,0	
	54	32,08	31,28	62,92	59,02	73,6	73,4	31,7	31,4
	81	31,06		58,34		72,8		31,4	



Zusammenhang zwischen dem Ernteertrag und der Entfernung der Parzellen vom Drän.  
Rapport entre la récolte et la distance des parcelles à partir du drain.



Im Jahre 1934 wurde auf dem Versuchsfelde Hafer der Sorte Findling angebaut. Die Ernteergebnisse und der Einfluß der Dränung sind in der Tabelle IV enthalten und in Fig. 4 dargestellt. Der durchschnittliche Körnerertrag war auf dem gedrännten Felde 28,9 q/ha, auf dem ungedrännten 27,3 q/ha, der Strohertrag 40,9 q/ha und 39,5 q/ha, obwohl die größten Erträge auf dem ungedrännten Felde und nicht auf dem gedrännten Felde gefunden wurden. Die Hektoliter- und 1000-Körnergewichte waren auf beiden Feldern fast gleich. Die Untersuchung des prozentualen Spelzengewichtes wies keinen Zusammenhang mit der Entfernung vom Drän auf. Im Institut für

Tabelle IV.

Modlnica

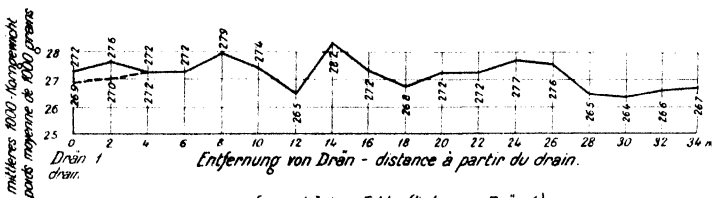
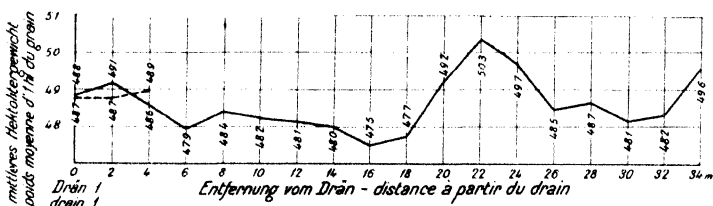
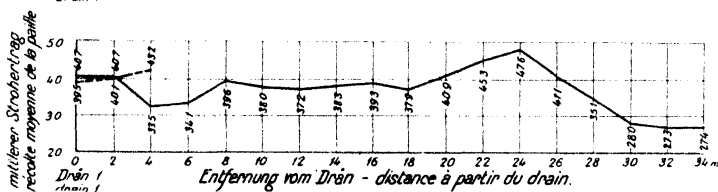
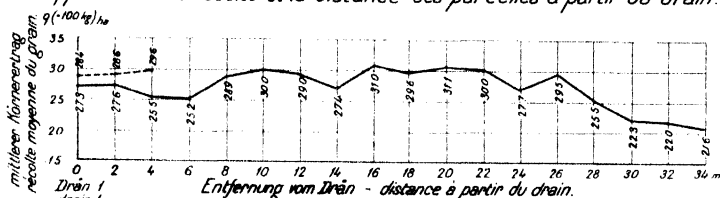
1934

Hafer

Ent- fer- nung vom Drän  m	Par- zellen- Nr.	Gewicht q (= 100 kg) / ha				Hektoliter- gewicht kg		1000- Körnergewicht g		Speizen- gehalt  ‰
		Körner		Stroh		einzeln	durch- schnitt- lich	einzeln	durch- schnitt- lich	
		einzeln	durch- schnitt- lich	einzeln	durch- schnitt- lich					
34	1	17,6		23,4		50,2		26,8		
	28	24,2	21,6	29,8	27,4	49,3	49,6	26,8	26,7	
	55	23,0		29,0		49,3		26,6		
32	2	20,7		23,3		47,3		26,1		
	29	22,1	22,0	27,9	27,3	48,6	48,2	27,3	26,6	
	56	23,3		30,7		48,7		26,4		
30	3	23,0		28,0		48,9		26,6		
	30	23,3	22,3	30,7	28,0	47,1	48,1	26,1	26,4	
	57	20,6		25,4		47,9		26,6		
28	4	27,3		37,7		49,1		27,1		
	31	24,6	25,5	35,4	35,1	48,8	48,7	25,9	26,5	
	58	24,7		32,3		48,3		26,4		
26	5	27,2		33,8		49,2		28,2		27,9
	32	30,9	29,5	47,1	41,1	47,3	43,5	27,5	27,6	
	59	30,5		42,5		49,1		27,0		
24	6	28,5		56,5		50,7		29,5		
	33	27,6	27,7	41,4	47,6	49,9	49,7	26,9	27,7	
	60	27,0		45,0		48,5		26,8		
22	7	31,2		44,9		50,3		27,4		
	34	31,7	30,1	53,3	45,3	50,4	50,3	27,5	27,2	
	61	27,4		37,6		50,2		26,8		
20	8	31,3		37,7		48,3		27,1		
	35	30,7	31,1	38,3	40,9	50,1	49,2	27,2	27,2	
	62	31,4		46,6		49,1		27,4		
18	9	29,4		35,6		46,8		26,2		30,0
	36	29,0	29,6	36,0	37,8	47,8	47,7	26,7	26,8	
	63	30,3		41,7		48,5		27,5		
16	10	28,2		29,8		46,6		26,9		
	37	32,4	31,0	40,6	39,3	47,8	47,5	26,8	27,2	
	64	32,4		47,4		48,0		27,9		
14	11	23,9		25,1		46,6		27,4		29,1
	38	32,8	27,4	36,2	38,3	48,2	48,0	27,3	28,2	
	65	25,5		53,5		49,3		29,8		
12	12	23,6		25,4		46,5		25,6		
	39	31,0	29,0	33,6	37,2	48,5	48,1	25,8	26,5	
	66	32,5		52,5		49,3		28,1		
10	13	27,3		30,7		46,8		27,5		28,2
	40	28,3	30,0	32,7	38,0	47,9	48,3	26,8	27,4	
	67	34,5		50,5		50,0		28,0		

Ent- fer- nung vom Drän  m	Par- zellen- Nr.	Gewicht q (= 100 kg)/ha				Hektoliter- gewicht kg		1000- Körnergewicht g		Spelzen- gehalt  %
		Körner		Stroh		einzeln	durch- schnitt- lich	einzeln	durch- schnitt- lich	
		einzeln	durch- schnitt- lich	einzeln	durch- schnitt- lich					
8	14	26,6		30,9		47,3		27,1		
	41	26,9	28,9	35,1	39,6	47,8	48,4	27,7	27,9	
	68	33,0		52,9		50,2		28,9		
6	15	24,1		32,9		46,9		26,6		
	42	23,1	25,2	29,9	34,1	48,4	47,9	27,4	27,2	
	69	28,4		39,6		48,5		27,6		
4	16	25,7		37,3		47,9		26,9		28,8
	43	23,8	25,5	29,1	33,5	49,0	48,6	26,9	27,2	
	70	27,0		34,0		48,9		27,9		
2	17	27,3		39,7		48,0		26,1		
	44	26,7	27,6	37,3	40,7	49,3	49,1	27,2	27,6	
	71	28,9		45,1		50,0		29,4		
0	18	26,1		42,9		48,2		27,1		28,2
	45	26,3	27,3	37,3	40,7	48,8	48,8	27,2	27,2	
	72	29,6		41,4		49,5		27,3		
2	19	29,1		40,9		48,0		27,2		
	46	25,7	28,5	36,3	40,5	48,2	48,8	28,1	27,6	
	73	30,6		44,4		50,0		27,7		
4	20	27,6		39,4		47,3		26,7		
	47	27,5	28,8	39,5	40,5	28,9	48,6	27,3	27,4	
	74	31,4		42,7		49,6		28,3		
2	21	23,0		34,0		47,1		24,7		
	48	28,4	26,8	39,6	38,2	47,4	47,6	26,2	25,8	
	75	29,0		41,0		48,4		26,4		
0	22	28,7		37,3		48,4		26,5		29,4
	49	26,9	27,4	41,1	39,3	48,5	48,4	26,9	26,3	
	76	26,5		39,5		48,3		25,4		
2	23	33,9		33,1		49,0		27,2		
	50	26,7	30,6	48,3	41,1	48,0	48,7	27,0	27,1	
	77	31,1		41,9		49,0		27,0		
4	24	32,4		43,6		49,7		26,7		29,7
	51	29,1	31,2	38,8	42,2	47,4	48,8	26,7	26,7	
	78	31,9		44,1		49,4		26,8		
0	25	32,0		40,0		49,6		27,0		29,7
	52	29,7	30,4	37,3	38,6	47,8	48,8	27,0	27,2	
	79	29,6		38,4		49,2		27,5		
2	26	29,7		46,3		51,2		27,8		
	53	26,8	28,4	35,2	40,6	48,7	50,0	26,1	27,2	
	80	28,7		40,3		49,8		27,7		
4	27	27,6		51,4		50,5		28,5		28,9
	54	32,0	27,0	47,0	47,0	48,1	49,3	26,4	27,5	
	81	27,5		42,5		49,3		27,7		

Rapport entre la récolte et la distance des parcelles à partir du drain.



auf ungedrähtem Felde (links vom Drain 1).

---- auf gedrähtem Felde (rechts vom Drain 1)  
sur le champ drainé (à droite du drain 1).

Tierphysiologie und Ernährung der Haustiere der hiesigen Universität ist der Gehalt an Nährstoffen und der Stärkewert des Hafers aus den über dem Drän gelegenen Parzellen Nr. 18, 45 und 72 und aus den 26 m weit vom Drän gelegenen Parzellen Nr. 5, 32 und 59 ermittelt worden (Tabelle V). Der Stärkewert beträgt bei Annahme der Kellner'schen Koeffizienten 60,7 und 60,9. Nach Kellner schwankt der Stärkewert des Hafers zwischen 54,8 und 63. Die Ergebnisse dieser Untersuchung zeigen Differenzen, welche die Fehlergrenzen nicht überschreiten. Die Dränung hat also keinen Einfluß auf den Ernährungswert des Hafers ausgeübt.

Tabelle V.

1934

## a) Der Gehalt des Hafers an Nährstoffen in % des Gewichtes

Nährstoffe	Aus den Parzellen	
	über dem Drän Nr. 18, 45, 72	26 m vom Drän Nr. 5, 32, 59
Roheiweiß . . . . .	8,22	8,43
Rohfaser . . . . .	11,36	11,21
Asche . . . . .	3,20	2,96
Stickstofffreie Extraktstoffe und Rohfett	65,62	65,95
Trockensubstanz . . . . .	88,40	88,55
Wasser . . . . .	11,60	11,45
Organische Substanzen (Trockensubstanz -Asche) . . . . .	85,20	85,59
Reineiweiß . . . . .	7,56	7,64

## b) Stärkewert des Hafers

Nährstoffe	Kellnersche Koeffizienten	Aus den Parzellen			
		über dem Drän Nr. 18, 45, 72		26 m vom Drän Nr. 5, 32, 59	
Reineiweiß .	$0,76 \times 0,94 = 0,714$	$7,56 \times 0,714 =$	5,40	$7,64 \times 0,714 =$	5,45
Rohfett <sup>1)</sup> .	$0,80 \times 2,12 = 1,696$	$5,79 \times 1,696 =$	9,82		9,82
Rohfaser .	$0,28 \times 1 = 0,28$	$11,36 \times 0,28 =$	3,18	$11,21 \times 0,28 =$	3,14
Stickstofffreie Extraktstoffe	$0,76 \times 1 = 0,76$	$(65,62-5,79) \times 0,76$	45,47	$(65,95-5,79) \times 0,76$	45,72
zusammen .			63,87		64,13
Stärkewert .		$63,87 \times 0,95$	60,7	$64,13 \times 0,95$	60,9

Im Jahre 1935 — erst am 2. Juni — wurde das Feld nach Stall-  
düngung mit Kartoffeln — leider drei Sorten gemischt: Switez, Wolt-  
man und vielleicht Champion — angebaut. Die Ernte hat Mitte  
Oktober stattgefunden. Der Ertrag jeder Parzelle wurde gewogen,  
ferner wurden Proben von ungefähr 3 kg der Analyse auf Stärke  
nach der *Krokerschen* Methode unterzogen (Bestimmung des spezi-  
fischen Gewichtes mittels des Areometers in Salzlösung mit Um-  
rechnung auf % der Stärke). Aus der Tabelle VI und der Fig. 5 sehen  
wir, daß der Knollenertrag auf dem gedränten Felde bedeutend größer  
war als auf dem ungedränten (117 bis 125 q/ha bzw. 81 bis 116 q/ha),  
und daß auf dem ungedränten Felde der Ertrag in 4—6 m Entfer-  
nung vom Drän von 109 auf 82 q/ha fällt. Dasselbe kann vom Stärkeertrag  
gesagt werden. Dieser beträgt auf dem gedränten Felde 22,5 bis  
23,0 q/ha, auf dem ungedränten 15,1 bis 21,9 q/ha und fällt sofort  
mit der Entfernung vom letzten Drän von 21,9 q/ha bei 0 m Ent-  
fernung auf 19,5 q/ha bei 2 m und auf 16,2 q/ha bei 4 m Entfernung.  
Dagegen scheint der %-Gehalt an Stärke auf dem gedränten Felde  
besser ausgeglichen zu sein (18,5 bis 19,4%) als auf dem ungedränten

1) Der wahrscheinliche Mittelwert angenommen.

Tabelle VI.

Modlnica

1935

Kartoffeln

Entfernung vom Drän m	Parzellen-Nr.	Gewicht $q$ (= 100 kg) / ha				Stärkegehalt	
		Knollen		Stärke		%	
		einzel	durchschnittlich	einzel	durchschnittlich	einzel	durchschnittlich
34	1	93		16,5		17,7	
	28	81	97	14,3	17,0	17,7	17,5
	55	117		20,1		17,2	
32	2	75		13,9		18,5	
	29	72	85	12,2	15,2	17,0	17,9
	56	107		19,5		18,2	
30	3	75		14,8		19,8	
	30	72	82	13,3	15,4	18,5	18,9
	57	98		18,1		18,5	
28	4	85		16,1		19,0	
	31	79	82	14,7	15,6	18,6	19,0
	58	82		16,0		19,5	
26	5	95		17,8		18,7	
	32	75	80	14,5	15,1	19,3	19,2
	59	70		13,0		18,6	
24	6	88		14,7		16,7	
	33	88	84	17,7	15,2	20,1	18,1
	60	75		13,1		17,5	
22	7	94		18,6		19,8	
	34	76	81	15,1	15,7	19,9	19,4
	61	72		13,3		18,5	
20	8	84		16,2		19,3	
	35	97	84	18,1	15,8	18,7	18,8
	62	70		12,9		18,5	
18	9	102		18,0		17,7	
	36	105	103	18,6	17,7	17,7	17,5
	63	101		16,6		16,4	
16	10	102		20,7		20,3	
	37	105	101	19,4	19,1	18,5	19,0
	64	95		17,3		18,2	
14	11	85		15,8		18,6	
	38	117	106	23,2	20,1	19,8	18,9
	65	117		21,3		18,2	
12	12	103		16,5		16,0	
	39	117	110	23,7	20,1	20,3	18,2
	66	110		20,0		18,2	
10	13	95		18,8		19,8	
	40	102	101	18,9	18,3	18,5	18,1
	67	107		17,2		16,1	

Ent- fer- nung vom Drän m	Par- zellen- Nr.	Gewicht q (= 100 kg) / ha				Stärkegehalt %	
		Knollen		Stärke		einzel	durch- schnittlich
		einzel	durch- schnittlich	einzel	durch- schnittlich		
8	14	82		15,2		18,5	
	41	70	81	13,6	15,8	19,5	19,4
	68	92		18,5		20,1	
6	15	80		16,1		20,1	
	42	79	81	14,7	15,7	18,6	19,3
	69	85		16,4		19,3	
4	16	64		12,7		19,8	
	43	89	82	17,6	16,2	19,8	19,8
	70	92		18,3		19,9	
2	17	75		13,9		18,6	
	44	121	109	20,6	19,5	17,0	18,0
	71	130		24,0		18,5	
0	18	112		20,7		18,5	
	45	113	116	22,0	21,9	19,5	18,9
	72	124		23,1		18,6	
2	19	105		21,3		20,3	
	46	119	116	23,6	23,0	19,0	19,8
	73	125		24,1		19,3	
4	20	89		16,5		18,6	
	47	145	123	28,7	22,8	19,8	18,6
	74	134		23,3		17,4	
2	21	80		15,8		19,8	
	48	111	105	21,1	20,0	19,0	19,1
	75	124		23,1		18,6	
0	22	84		15,7		18,7	
	49	109	99	22,1	19,6	20,3	19,8
	76	103		20,9		20,3	
2	23	97		17,6		18,2	
	50	105	108	20,8	19,6	19,8	18,2
	77	123		20,5		16,7	
4	24	95		18,5		19,5	
	51	139	116	26,4	22,2	19,0	19,2
	78	114		21,7		19,0	
0	25	131		24,4		18,6	
	52	157	135	29,4	26,1	18,7	19,4
	79	118		24,5		20,8	
2	26	166		30,9		18,6	
	53	160	151	29,8	28,7	18,6	19,0
	80	128		25,3		19,8	
4	27	149		26,1		17,5	
	54	130	136	21,7	24,0	46,7	17,6
	81	130		24,2		18,6	

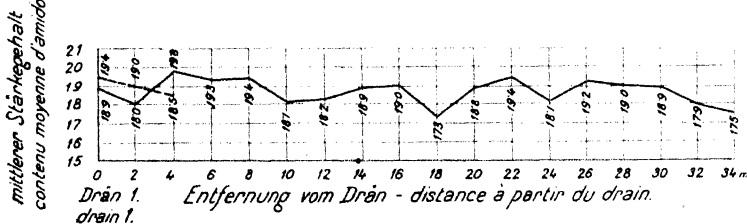
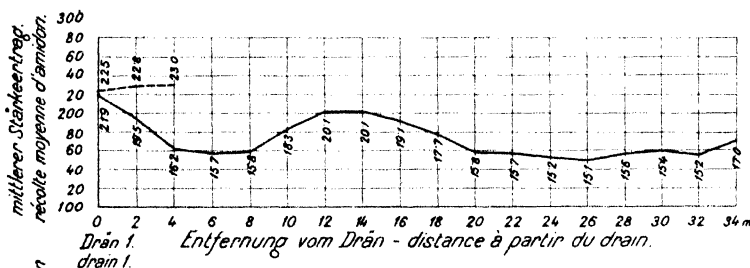
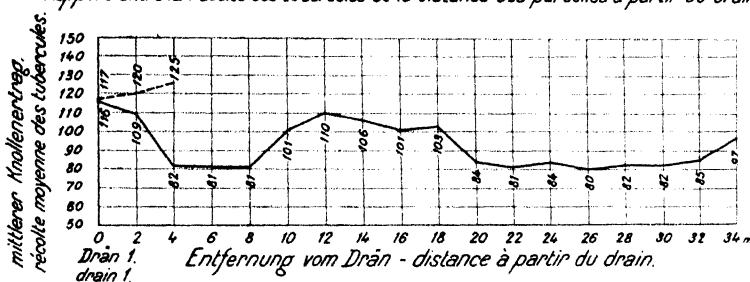
Modlnica

Fig. 5.

1935.

Kartoffeln  
pommes de terre.

Zusammenhang zwischen Ernteertrag und Entfernung der Parzellen vom Drän.  
Rapport entre la récolte des tubercules et la distance des parcelles à partir du drain.



— auf ungedrântem Felde (links vom Drän 1).  
sur le champ non-drainé (à gauche du drain 1).  
--- auf gedrântem Felde (rechts vom Drän 1).  
sur le champ drainé (à droite du drain 1).

(17,3 bis 19,8%), auch ist kein Einfluß des letzten Dräns auf den Stärkegehalt zu bemerken.

Im Jahre 1936 ist zweigliedrige Gerste von unbekannter Sorte angebaut worden. Die Ernteergebnisse und der Zusammenhang mit der Entfernung vom Drän sind in der Tabelle VII enthalten und in Fig. 6 dargestellt. Die Erträge sind im allgemeinen minderwertig, der Einfluß der Dränung ist wegen des zu trockenen und zu kalten Frühlings und des zu nassen und zu kalten Sommers nicht zur Geltung gekommen. Auf dem gedrântem Felde beträgt der Körnerertrag 6,7 bis 8,1 q/ha, im Mittel 7,4 q/ha, der Strohertrag 31,5 bis 34,6 q/ha, im Mittel 33,0 q/ha, das Hektolitergewicht 57,4 bis 57 kg, im Mittel



Tabelle VII.

Modlnica

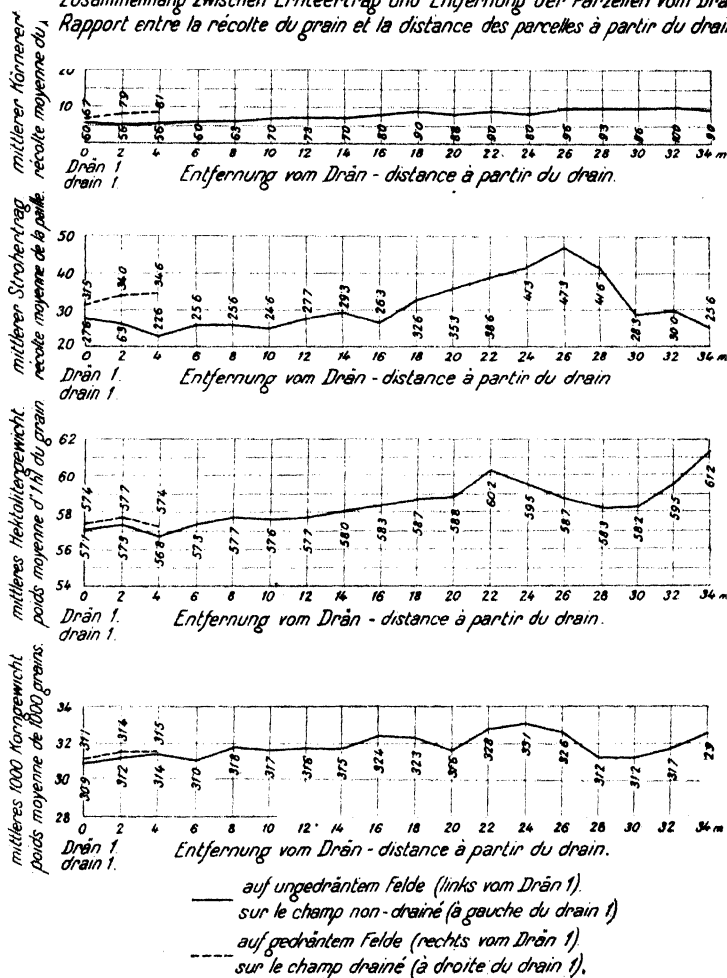
1936

Gerste

Ent- fer- nung vom Drän m	Par- zellen- Nr.	Gewicht (q = 100 kg)/ha				Hektoliter- gewicht kg		1000- Körnergewicht g	
		Stroh		Körner					
		einzel	durch- schnitt- lich	einzel	durch- schnitt- lich	einzel	durch- schnitt- lich	einzel	durch- schnitt- lich
34	1	22,0		9,0		61,0		33,2	
	28	24,0	25,6	9,0	9,0	61,2	61,2	32,4	32,3
	55	31,0		9,0		61,4		31,2	
32	2	30,0		9,0		59,7		32,1	
	29	31,0	30,0	10,0	10,0	58,4	59,5	31,7	31,7
	56	29,0		11,0		60,5		31,3	
30	3	31,0		9,0		59,4		33,0	
	30	32,0	28,3	9,0	9,6	57,8	58,2	30,5	31,2
	57	22,0		11,0		57,4		30,1	
28	4	41,0		9,0		59,4		33,0	
	31	44,0	41,6	9,0	9,3	58,2	58,3	29,6	31,2
	58	36,0		10,0		57,4		30,9	
26	5	43,0		7,0		59,0		33,4	
	32	48,0	47,3	10,0	9,6	58,2	58,7	31,8	32,6
	59	51,0		12,0		59,0		32,6	
24	6	41,0		7,0		59,4		34,2	
	33	43,0	41,3	9,0	8,6	58,8	59,6	32,8	33,1
	60	40,0		10,0		60,5		32,3	
22	7	33,0		6,0		60,1		33,3	
	34	46,0	38,6	10,0	9,0	59,4	60,2	31,7	32,8
	61	37,0		11,0		61,0		33,5	
20	8	24,0		6,0		58,8		31,5	
	35	39,0	35,3	9,0	8,3	58,7	58,8	31,2	31,6
	62	43,0		10,0		58,9		32,2	
18	9	29,0		7,0		58,6		32,5	
	36	31,0	32,6	10,0	9,0	57,5	58,7	31,0	32,3
	63	38,0		10,0		60,2		33,3	
16	10	21,0		7,0		57,8		32,0	
	37	25,0	26,3	8,0	8,0	57,1	58,3	32,1	32,4
	64	33,0		9,0		60,2		33,0	
14	11	25,0		5,0		57,0		31,0	
	38	25,0	29,3	7,0	7,0	57,5	58,0	30,3	31,5
	65	38,0		9,0		59,6		33,2	
12	12	30,0		6,0		55,4		31,3	
	39	24,0	27,7	8,0	7,3	57,2	57,7	30,7	31,6
	66	29,0		8,0		60,6		32,9	
10	13	20,0		5,0		56,2		31,0	
	40	24,0	24,6	8,0	7,0	57,4	57,6	31,1	31,7
	67	30,0		8,0		59,4		33,1	

Ent- fernung vom Drän m	Par- zellen- Nr.	Gewicht (q = 100 kg)/ha				Hektoliter- gewicht kg		1000- Körnergewicht g	
		Stroh		Körner		einzel	durch- schnitt- lich	einzel	durch- schnitt- lich
		einzel	durch- schnitt- lich	einzel	durch- schnitt- lich				
8	14	26,0		6,0		56,4		30,8	
	41	23,0	25,6	6,0	6,3	58,1	57,7	30,7	31,8
	68	28,0		7,0		58,8		34,0	
6	15	25,0		6,0		55,6		30,9	
	42	26,0	25,6	6,0	6,0	58,2	57,3	30,4	31,0
	69	26,0		6,0		58,1		31,7	
4	16	20,0		4,0		56,2		31,6	
	43	24,0	22,6	5,0	5,6	57,2	56,8	30,5	31,4
	70	24,0		8,0		57,2		32,1	
2	17	27,0		5,0		55,4		30,8	
	44	21,0	26,3	4,0	5,6	57,6	37,3	30,6	31,2
	71	31,0		8,0		59,1		32,3	
0	18	33,0		5,0		55,6		30,2	
	45	28,0	27,6	7,0	6,0	58,0	57,1	30,6	30,9
	72	22,0		6,0		57,7		31,9	
2	19	35,0		7,0		57,0		32,2	
	46	33,0	31,0	7,0	7,0	57,0	57,5	30,9	31,3
	73	25,0		7,0		58,6		30,8	
4	20	34,0		6,0		56,3		31,2	
	47	35,0	36,6	8,0	7,6	56,4	57,0	32,0	31,8
	74	41,0		9,0		58,4		32,2	
2	21	30,0		7,0		56,2		30,3	
	48	34,0	33,0	8,0	8,3	57,6	57,3	31,0	31,0
	75	35,0		10,0		58,2		31,7	
0	22	27,0		5,0		55,8		30,4	
	49	40,0	34,3	8,0	7,0	58,1	57,7	30,8	31,2
	76	36,0		8,0		59,2		32,4	
2	23	28,0		7,0		56,4		30,3	
	50	35,0	34,0	8,0	8,0	58,0	57,6	31,5	31,4
	77	39,0		9,0		58,3		32,4	
4	24	31,0		8,0		56,6		30,3	
	51	35,0	33,0	9,0	8,6	57,3	56,7	32,3	31,1
	78	33,0		9,0		56,2		30,6	
0	25	39,0		8,0		57,2		31,2	
	52	30,0	32,6	9,0	7,3	57,8	57,4	32,0	31,2
	79	29,0		5,0		57,2		30,3	
2	26	37,0		7,0		58,1		32,2	
	53	40,0	37,0	10,0	8,3	59,2	58,6	33,0	32,1
	80	34,0		8,0		58,4		31,0	
4	27	29,0		8,0		58,6		32,0	
	54	34,0	34,3	8,0	8,3	58,6	58,5	31,2	31,7
	81	40,0		9,0		58,4		31,8	

Zusammenhang zwischen Ernteertrag und Entfernung der Parzellen vom Drän  
Rapport entre la récolte du grain et la distance des parcelles à partir du drain.



57,5 kg und das 1000-Körnergewicht 31,1 bis 31,5 g, im Mittel 31,3 g. Auf dem ungedrännten Felde ist der Ertrag in der Nähe des Dräns kleiner als auf dem gedrännten Felde, in weiterer Entfernung dagegen größer. Dieses Ergebnis kann vielleicht mit der von Anfang an besseren Struktur des Bodens auf den betreffenden Streifen erklärt werden, was unten noch besprochen wird.

An den auf dem Lageplan Fig. 1 bezeichneten Stellen wurden außerhalb der Versuchspartzen (nicht auf den Partzen, um den Boden der Partzen nicht zu stören) mehrere Male aus 0,5 m und 1,0 m Tiefe je zwei Bodenproben entnommen und der mechanischen

**Tabelle VIII.**

Ergebnisse der mechanischen Analyse nach *Kopeckij* in Gewichtsprozenten des trockenen Bodens.

1935.

Fractionen:

I < 0,01 mm

II 0,01—0,05 mm

III 0,05—0,10 mm

IV 0,10—2,00 mm

Modlnica

Entfernung vom Drän m	Parzellen-Nr.	Tiefe m	Fractionen	%	Entfernung vom Drän m	Parzellen-Nr.	Tiefe m	Fractionen	%
34	1	0,5	I	39,51	14	11	1,0	I	35,05
			II	54,76				II	59,90
			III	5,45				III	4,61
			IV	0,28				IV	0,44
		1,0	I	37,02			0,5	I	37,19
			II	54,74				II	53,00
			III	8,12				III	9,25
			IV	0,12				IV	0,56
30	3	0,5	I	40,80	10	13	1,0	I	37,18
			II	53,34				II	56,78
			III	5,70				III	5,88
			IV	0,16				IV	0,16
		1,0	I	36,14			0,5	I	38,76
			II	59,54				II	55,30
			III	4,16				III	5,82
			IV	0,16				IV	0,12
26	5	0,5	I	38,06	6	15	1,0	I	35,14
			II	55,54				II	57,18
			III	6,10				III	7,36
			IV	0,30				IV	0,32
		1,0	I	38,74			0,5	I	49,63
			II	56,76				II	46,08
			III	4,34				III	4,07
			IV	0,16				IV	0,22
22	7	0,5	I	43,24	4	16	1,0	I	34,32
			II	52,50				II	59,80
			III	4,02				III	5,45
			IV	0,24				IV	0,43
		1,0	I	33,76			0,5	I	38,47
			II	58,86				II	55,95
			III	7,22				III	5,26
			IV	0,16				IV	0,32
18	9	0,5	I	39,76			1,0	I	40,00
			II	53,36				II	54,00
			III	6,38				III	5,48
			IV	0,50				IV	0,52

Entfernung vom Drän m	Parzellen-Nr.	Tiefe m	Fraktionen	%	Entfernung vom Drän m	Parzellen-Nr.	Tiefe m	Fraktionen	%
2	17	0,5	I	36,71	4	24	1,0	I	36,00
			II	57,69				II	55,84
			III	5,02				III	7,72
			IV	0,58				IV	0,44
		1,0	I	35,46			0,5	I	38,10
			II	56,28				II	55,84
			III	8,06				III	5,32
			IV	0,20				IV	0,74
0	18	0,5	I	38,21	0	25	1,0	I	35,42
			II	57,00				II	58,58
			III	4,24				III	5,66
			IV	0,55				IV	0,34
		1,0	I	37,17			0,5	I	39,32
			II	54,91				II	54,40
			III	7,48				III	5,66
			IV	0,44				IV	0,62
4	20	0,5	I	37,20	4	27	1,0	I	32,87
			II	54,82				II	58,28
			III	7,36				III	7,34
			IV	0,62				IV	1,51
		1,0	I	37,41			0,5	I	34,86
			II	56,92				II	58,70
			III	5,38				III	4,31
			IV	0,29				IV	2,13
0	22	0,5	I	33,68			1,0	I	35,89
			II	57,65				II	57,14
			III	7,96				III	5,88
			IV	0,71				IV	1,09

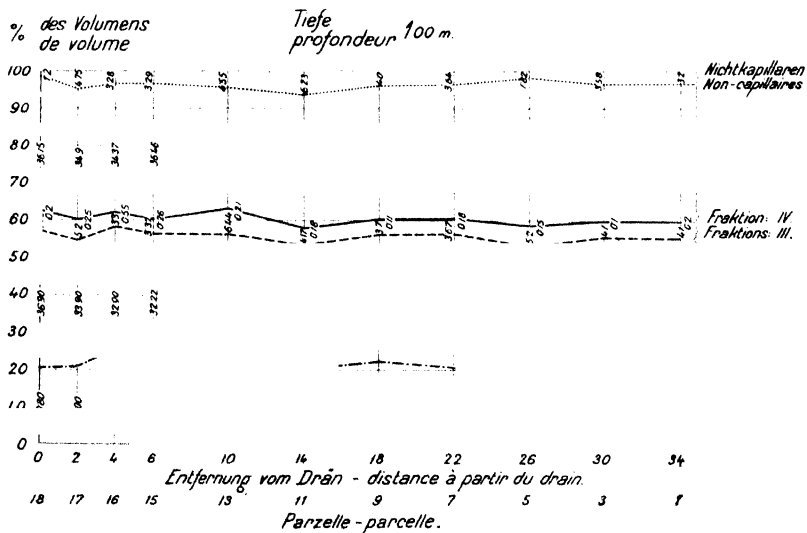
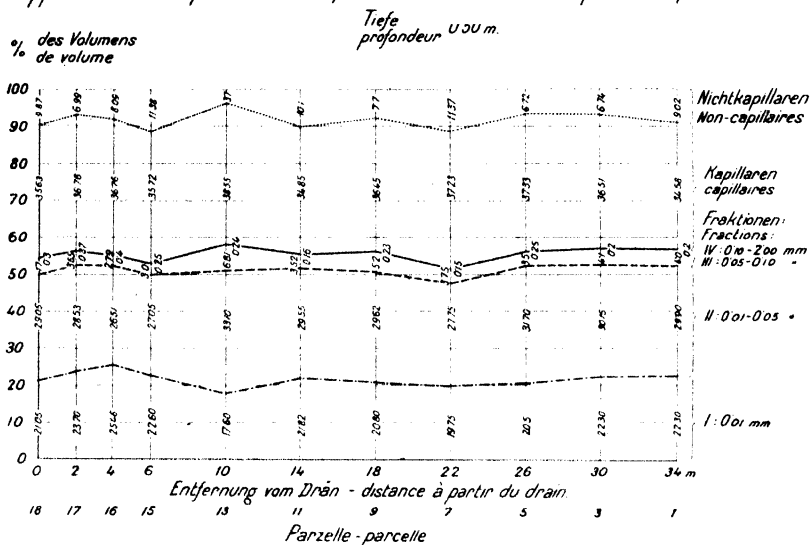
Analyse in *Kopecký*schen Apparaten unterzogen. Die Ergebnisse aus dem Jahre 1935 sind in der Tabelle VIII zusammengestellt. Kalziumkarbonat wurde nicht gefunden. Wir haben die in Gewichtsprozenten ausgedrückten Gehalte der Teilchen der vier Kategorien der Analyse aus dem Jahre 1935 auf Volumprocente umgerechnet und außerdem den Raum der kapillaren und nichtkapillaren Poren ermittelt und in Fig. 7 dargestellt.<sup>1)</sup> Eine deutliche Verbesserung der Bodenstruktur durch eine Verminderung des Gehaltes an Teilchen der Kategorie I, eine Vergrößerung des Gehaltes an Teilchen der Kategorie II und eine Vergrößerung der Luftkapazität im Zusammenhang mit der Dränung ist leider nicht zu bemerken.

<sup>1)</sup> Der Porenraum ist aus dem Raumgewicht und dem spezifischen Gewicht (Stoffgewicht) des Bodens berechnet. Der Raum der kapillaren Poren wurde durch Subtraktion des Gewichtes des getrockneten Bodens vom Gewichte des Bodens nach Sättigung mit Wasser und 24stündiger Aussickerung des letzteren ermittelt. Das Volumen der nichtkapillaren Poren ist der Differenz des Porenraumes und des Kapillarenraumes gleich.

# Modlnica.

Fig. 7.

Zusammenhang zwischen der mechanischen Zusammensetzung des Bodens  
und der Entfernung der Parzellen vom Drän.  
Rapport entre la composition mécanique du sol et la distance des parcelles à partir du drain.



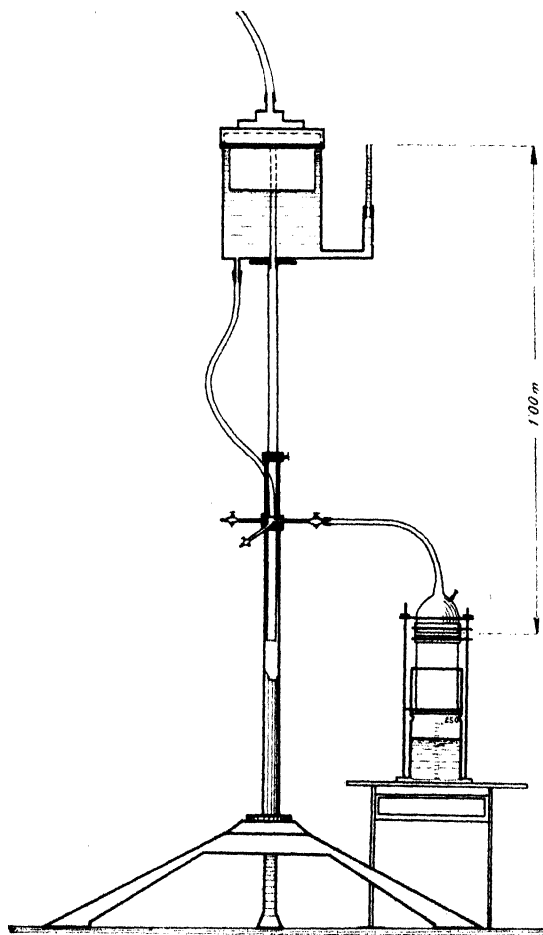
Die Luftkapazität beträgt in 0,5 m Tiefe auf dem ungedrängten Felde bis in eine Entfernung von 4 m vom letzten Drän im Mittel 8,32%, während sie auf dem ganzen ungedrängten Felde bis in 34 m Entfernung vom Drän 8,33% beträgt. In 1,0 m Tiefe beträgt sie

2,74% und 3,50%. Es bestätigt sich unsere oben ausgesprochene Vermutung, daß der Boden in weiterer Entfernung vom letzten Drän wahrscheinlich eine bessere Struktur hat, was die Dränwirkung herabsetzt. Die Ernteergebnisse zeigen nicht, daß die Luftkapazität des Bodens in 0,5 m und 1,0 m Tiefe zu klein ist. Es wäre eine Untersuchung darüber wünschenswert, ob eine Vergrößerung der Luftkapazität einen besseren Ernteertrag zur Folge hat.

Das spezifische Gewicht des Bodens beträgt in 0,5 m Tiefe 2,60 bis 2,70 g/cm<sup>3</sup>, durchschnittlich 2,66 g/cm<sup>3</sup>, und in 1,0 m Tiefe 2,64 bis 2,70 g/cm<sup>3</sup>, durchschnittlich 2,68 g/cm<sup>3</sup> (Tabelle IX).

Zur Untersuchung der Durchlässigkeit des Bodens haben wir den Apparat von *Spirhanzl* (Prag) benützt (Fig. 8). Da das Käppchen,

Fig. 8.



Apparat von *Spirhanzl*

welches das mit gewachsenem Boden gefüllte Wälzchen wasserdicht abschließt, vom Druck des Wassers emporgehoben wird, haben wir außen am Wälzchen zum Festhalten des Käppchens drei Stäbchen aus Messing angebracht. Nach 24 Stunden wird die Menge des durchgesickerten Wassers am Maßstabe des Gefäßes in Kubikzentimetern abgelesen. Wenn sich das Gefäß in kürzerer Zeit mit Wasser füllte, haben wir die Füllungszeit des Gefäßes vermerkt und auf 24 Stunden umgerechnet. — Die Durchlässigkeit des Bodens erwies sich wegen vieler in ihm vorhandener Kanälchen als sehr verschieden und ohne jeden Zusammenhang mit der Entfernung vom Drän (Tabelle X).

**Tabelle IX.**

Modlnica

Spezifisches Gewicht des Bodens

Entfernung vom Drän m	Parzellen- Nr.	Tiefe	
		0,5 m	1,0 m
34	1	2,63	2,68
30	3	2,66	2,68
26	5	2,65	2,70
22	7	2,66	2,70
18	9	2,66	2,68
14	11	2,67	2,68
10	13	2,70	2,64
6	15	2,70	2,66
4	16	2,67	2,67
2	17	2,60	2,68
0	18	2,66	2,67

**Tabelle X.**

Modlnica

Durchlässigkeit des Bodens

Entfernung vom Drän m	Parzellen- Nr.	Tiefe m	Zeit			Menge des durchge- sickerten Wassers cm <sup>3</sup>	Tiefe m	Zeit			Menge des durchge- sickerte Wassers cm <sup>3</sup>
			Std.	Min.	Sek.			Std.	Min.	Sek.	
34	1	0,5	---	32	---	250	1,0	24	---	---	170
30	3	0,5	---	2	56	250	1,0	24	---	---	70
26	5	0,5	---	1	---	250	1,0	---	10	16	250
22	7	0,5	---	3	10	250	1,0	24	---	---	580
18	9	0,5	---	30	---	250	1,0	24	---	---	70
14	11	0,5	---	---	25	250	1,0	24	---	---	70
10	13	0,5	---	---	56	250	1,0	---	1	21	250
6	15	0,5	---	---	10	250	1,0	---	2	16	250
4	16	0,5	---	6	22	250	1,0	---	45	45	250
2	17	0,5	---	2	47	250	1,0	24	---	---	320
0	18	0,5	---	1	48	250	1,0	1	10	25	250

**Tabelle XI.**

Modlnica

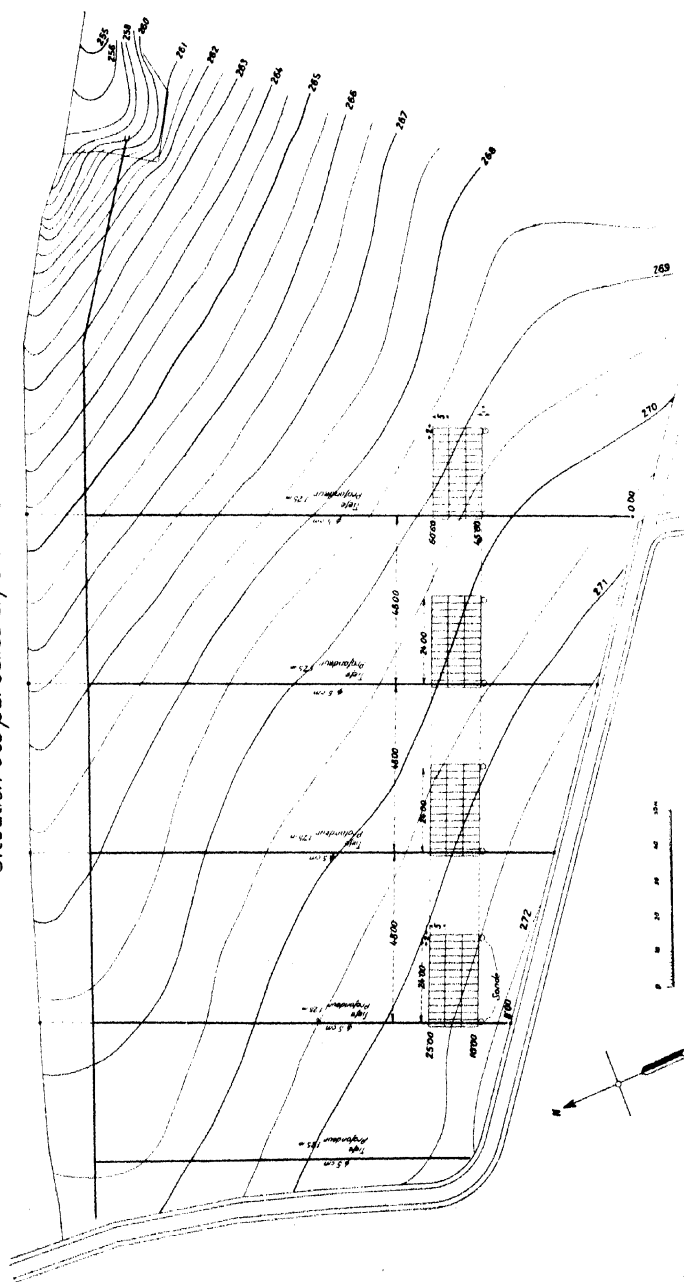
Azidität des Bodens

Entfernung vom Drän m	Parzellen- Nr.	Tiefe m	pH	Tiefe m	pH
34	1	0,5	6,60	1,0	6,61
30	3	0,5	6,60	1,0	6,52
26	5	0,5	6,10	1,0	6,48
22	7	0,5	6,10	1,0	6,52
18	9	0,5	6,06	1,0	6,52
14	11	0,5	6,34	1,0	6,52
10	13	0,5	6,26	1,0	6,59
6	15	0,5	6,36	1,0	6,83
4	16	0,5	6,48	1,0	6,54
2	17	0,5	6,59	1,0	6,76
0	18	0,5	6,41	1,0	6,55



# *Bronowice Małe.*

*Fig. 9.*  
*Situation der Versuchspartzellen.*  
*Situation des parcelles experimentales.*



Die Azidität des Bodens wurde elektrometrisch untersucht (Tabelle XI). Ein Zusammenhang zwischen dem Grade der Azidität des Bodens und der Entfernung vom Drän hat sich nicht erwiesen. Die pH-Werte betragen in 0,5 m Tiefe 6,10 bis 6,60, im Mittel 6,35 und in 1,0 m Tiefe 6,48 bis 6,83, im Mittel 6,58.

Aus den Ergebnissen unserer Untersuchungen der Dränungsfolgen auf dem Versuchsfelde in Modlnica in den 5 Jahren 1931/32 bis 1935/36 können folgende Schlußfolgerungen gezogen werden:

Was die Ernteerträge anbelangt, so hat die Dränung den besten Erfolg bei Weizen, Roggen und Kartoffeln gehabt; bei Hafer und Gerste dagegen war kaum ein solcher zu verzeichnen, weil der Hafer eine nässere und die Gerste eher eine trockenere Vegetationsperiode bevorzugt, als damals vorhanden war.

Im Falle nicht normaler Niederschläge und nicht entsprechender Temperatur hat sich auf dem gedränten Felde jedenfalls eine bessere Ausgleichung der Ernte und demzufolge ein durchschnittlich höherer Ertrag gezeigt. Auch mildert die Dränung die Folgen von Pflanzenkrankheiten, wie z. B. der Rostkrankheit.

Saugerabstände von 8 m erscheinen für das Versuchsfeld eher zu klein. Nach meinen Tabellen sollen die Saugerabstände für die durchschnittlichen Bodenproben aus 0,5 und 1,0 m Tiefe (z. B. aus der Parzelle Nr. 13, d. i. in 10 m Entfernung vom letzten Drän) nach der Analyse aus dem Jahre 1935 11,42 m und 12,90 m, also ungefähr 11 m, und wegen der nordöstlichen Neigung des Feldes eher 10 m betragen. Der tschechoslowakischen Instruktion aus dem Jahre 1931 gemäß sollten die Dränabstände 14,17 m und 14,65 m, also höchstens 14 m betragen. Da jedoch das Klima von Böhmen milder als dasjenige von Polen ist, sollen bei uns die Dränabstände kleiner als dort angenommen werden.<sup>1)</sup> Im Projekte der Dränung sind die Saugerabstände auf Grund der mechanischen Analyse mit Kühnschen Apparaten und der damals gebrauchten Tabelle auf 10 m bestimmt worden.

Es ist sehr schwer, allen unseren Anforderungen entsprechende gedränte Felder zu finden. Ich beschloß deshalb, neue Versuchsfelder zu errichten, auf denen die Dränung aus vier über 100 m langen, in zu großem Abstände gelegten Saugern bestehen wird. Ein solches Versuchsfeld wurde im Jahre 1936 im Dorfe Bronowice Male in der nächsten Umgebung von Kraków, errichtet (Fig. 9). Die Beobachtungen werden im Jahre 1937 begonnen werden. Im Jahre 1937 wurde ein zweites Versuchsfeld im Dorfe Lusina im Bezirke Kraków errichtet. Weitere Versuchsfelder werden in den nächsten Jahren nach Maßgabe der Kredite folgen.

<sup>1)</sup> A. Rożański, Tiefe und Abstand der Dränsauger in Mineralböden. Verhandlungen der 6. Kommission der Intern. Bodenkundl. Gesellschaft in Groningen 1932, Teil B, S. 44.

Rudolf Janota, Neue Richtlinien in der Tschechoslowakischen Republik. Verhandlungen der 6. Kommission der Intern. Bodenkundl. Gesellschaft in Groningen 1932, Teil A, S. 97.

## 18. Un champ d'expériences sur le drainage

Par

M. H. Laferrère, Ingénieur du Génie rural à Paris, France.

La Station Expérimentale d'Hydraulique Agricole et de Génie rural a installé un champ d'expériences sur un terrain du territoire de la commune de *Combres*, au lieu dit «Les Cent Arpents».

*Description sommaire du champ d'expériences.* — Le terrain a une superficie totale d'environ  $3\frac{1}{2}$  hectares. Il est bordé au nord par une forêt et limité au sud par un ruisseau qui sert d'émissaire au réseau de drainage, à l'est et à l'ouest par des clôtures en ronce artificielle.

La surface du sol a, vers le ruisseau, une pente moyenne de l'ordre de 2 mm par mètre environ.

Ce terrain est cultivé en prairies naturelles (pâturages ou près de fauche).

*Etat du terrain avant les travaux de drainage.* — Avant que les travaux de drainage aient été effectués, le terrain était, en période pluvieuse, recouvert d'eau en permanence. Il était envahi par les jones et les carex; le trèfle blanc avait complètement disparu. Il ne présentait donc plus aucune valeur au point de vue pâturage. Il était alors périodiquement fauché et le foin de mauvaise qualité ainsi obtenu était utilisé comme litière. Ce terrain était donc d'un rapport nul.

*Travaux de drainage.* — L'étude d'un projet de drainage de ce terrain a été confiée au Service du Génie rural.

Trois trous de sondage qui avaient été creusés mirent en évidence l'homogénéité du terrain en étendue.

La Station Expérimentale d'Hydraulique agricole et de Génie rural envisagea pour cette raison la possibilité d'installer sur ce terrain, avec l'autorisation du propriétaire, un champ d'expériences, sous réserve que d'autres trous de sondage ne viennent pas infirmer la précédente constatation.

Le terrain était divisé en trois parcelles numérotées 1, 2 et 3.

La parcelle n° 1 a une superficie de 1,35 ha; la parcelle n° 2 une superficie de 1,20 ha; la parcelle n° 3 une superficie de 0,85 ha.

Ces parcelles sont séparées les unes des autres par des clôtures en ronces artificielles. Elles sont donc très nettement délimitées sur le terrain.

*Calcul du réseau de drainage.* — 3 trous de sondage furent creusés dans chaque parcelle.

Les caractéristiques du réseau de drainage (profondeur et écartement) ont été calculées au moyen de la formule de *Porchet* (formule de la parabole):

$$P = h_0 + \eta + \frac{A}{\sqrt{K}} L \quad (\text{pour 1 litre par sec. et par hectare}) \quad (1)$$

dans laquelle

$P$  est la profondeur des drains, exprimée en mètres,

$h_0$  la distance de la surface du sol à laquelle on doit descendre le plan d'eau pour que la culture puisse se faire normalement,

$\eta$  la hauteur capillaire du terrain, exprimée en mètres,

$K$  la vitesse de filtration en mètres par seconde,

$L$  le demi-écartement.

*Détermination des différents éléments qui interviennent dans cette formule. —*

*Profondeur.* La profondeur du réseau de drainage a été prise égale à 0,60 m.

Cette profondeur était pour ainsi dire rendue obligatoire afin d'éviter d'effectuer sur l'émissaire des travaux d'approfondissement importants.

*Hauteur à laquelle on doit descendre le plan d'eau  $h_0$ .* Cette profondeur a été prise égale à 0 car il s'agit d'une prairie permanente pour laquelle l'humidité, sans être trop grande, doit tout de même être importante.

*Hauteur capillaire.* La hauteur capillaire a été mesurée directement sur le terrain dans 5 des 9 trous de sondage qui avaient été effectués en dernier ressort.

Dans 4 de ces trous en effet, le plan d'eau de la nappe phréatique atteignait le niveau du sol.

La hauteur capillaire moyenne déterminée sur 5 des trous de sondage était égale à 0,25 m.

*Vitesse de filtration par unité de pente.* Cette caractéristique hydrodynamique du terrain a été déterminée sur le terrain en place au moyen des 9 trous de sondage qui ont été effectués.

La méthode utilisée est celle qui consiste à assimiler le trou de sondage à un puits et à appliquer à la mesure du débit effectuée la formule simplifiée de *Porchet*.

La valeur moyenne adoptée pour la vitesse de filtration est égale à 0,00004 m par seconde.

Les valeurs trouvées dans les 9 trous de sondage ont varié au maximum de 3% en moins et de 2% en plus autour de cette valeur moyenne. On peut donc admettre que le terrain dans lequel est établi le champ d'expériences est homogène sur toute son étendue. Il est constitué par des alluvions composées par de l'argile grisâtre.

*Calcul de l'écartement.* — La formule (1) donne dans ces conditions pour l'écartement:

$$0,60 = 0 + 0,25 + \frac{0,00063}{\sqrt{0,00004}} L$$

d'où l'on tire :

$$L = \frac{0,35}{0,0995} \approx 3,50 \text{ m.}$$

L'écartement calculé pour une profondeur de 0,60 m est donc égal à 7 mètres.

Dans la parcelle n° 1, le drainage a été effectué à l'écartement de 7 mètres. Dans la parcelle n° 2, il a été effectué à l'écartement de 8 mètres, enfin dans la parcelle n° 3 il a été pris égal à 9 mètres.

Le champ d'expériences en question a été établi en 1932.

En 1935, c'est-à-dire 3 ans après que les travaux furent terminés, les parcelles numéros 1 et 2 étaient très correctement assainies. Le jonc et le carex avaient très nettement tendance à disparaître; le trèfle blanc reparaissait.

Dans la parcelle n° 3, au contraire, l'assainissement était insuffisant car jonc et carex continuaient de pousser.

En 1937, c'est-à-dire 5 ans après que les travaux ont été terminés, les parcelles 1 et 2 sont toujours correctement assainies. Jonc et carex ont complètement disparu et dans ces deux parcelles le pâturage est de premier ordre.

Dans la parcelle n° 3, au contraire, sur laquelle aucune modification n'a été jusqu'ici apportée afin de se rendre exactement compte des résultats obtenus, l'assainissement continue à être très insuffisant et il va falloir envisager maintenant l'adjonction de drains supplémentaires pour parfaire le drainage de cette troisième parcelle.

# **III. Feldberegnung, Abwasserverwertung**

## **L'irrigation par aspersion, l'utilisation des eaux usées**

### **Sprinkling irrigation, sewage irrigation**

#### **19. Künstlicher Regen und seine Wirkung auf Boden und Pflanze**

Von

Professor W. Freckmann, Berlin, Deutschland.

Die künstliche Beregnung von landwirtschaftlich genutzten Flächen hat zur Zeit in Deutschland — soweit festgestellt werden kann — eine Anwendung auf etwa 40 000 Hektar erreicht. Dazu kommt noch eine gärtnerisch genutzte Fläche, die auch nur annähernd zu ermitteln unmöglich ist. Als die für sehr viele unserer Wasser- und Bodenverhältnisse vor allem hinsichtlich der Oberflächengestaltung allein anwendbare Bewässerungsmethode ist sie auch als Maßnahme der Abwasserverwertung ständig in der Zunahme begriffen, und das mit Recht; bildet sie doch eine wertvolle Wirtschaftshilfe sowohl zur Steigerung wie zur Erhöhung der Sicherheit der Erträge. Die letztgenannte Tatsache läßt daher die ständig zunehmende Anwendung besonders auf Futterflächen verständlich erscheinen, auf denen ihre Wirtschaftlichkeit allerdings meist hinter der von Acker-, und zwar vornehmlich von Hackfrüchten, zurückbleibt. Es ist das ohne weiteres klar, wenn man bedenkt, wie sehr sich die Ausnutzung des Ackers mit Hilfe der künstlichen Beregnung allein durch den somit erst genügend gesicherten Anbau von Zwischenfrüchten steigern läßt, der ohne sie aus mindestens zeitweisem Wassermangel unmöglich bzw. zu unsicher ist.

Kunst- und Naturregen unterscheiden sich in ihrer Wirkung auf Boden und Pflanze sehr wesentlich von einander. Je mehr es uns gelingt, mit ersterem den letztgenannten nachzuahmen, um so besser wird die Wirkung des Kunstregens sein. Wenn das auch nie ganz erreichbar ist, so daß in der Wirkung beider stets ein erheblicher

Unterschied bestehen bleibt, ist es doch wichtig, den verschiedenen Einfluß von Natur- und Kunstregen auf Boden und Pflanzen eingehenden Untersuchungen zu unterziehen, um daraus zu immer weiteren Folgerungen für die Anwendung des letzteren zu kommen. Bei unseren vergleichenden Untersuchungen über beide Formen von Regen zeigte sich z. B., daß Kartoffeln zur Erzeugung von 1 kg Knollen etwa 98 mm an natürlichem, dagegen 205 mm an künstlichem Regen, für 1 kg Stärke 745 mm an natürlichem und 1815 mm an künstlichem Regen benötigten; ihre Wirkung war also 100 : 45. Damit ist natürlich nicht gesagt, daß wir 100 mm natürlichen Regen nun durch eine entsprechend größere Menge an Kunstregen, in diesem Falle also 220 mm, ersetzen könnten, sondern es soll mit der Anführung des Beispiels nur gezeigt werden, wie verschieden Natur- und Kunstregen den Pflanzenwuchs beeinflussen. Woran liegt das? Nun, es liegt bekanntlich zunächst einmal daran, daß der natürliche Regen unter ganz anderen Begleitumständen erfolgt wie der künstliche. Bedeckter Himmel bei großer Luftfeuchtigkeit verringert die Verdunstungsverluste der natürlichen Niederschläge gegenüber dem in der Praxis vielfach während des Tages, und zwar auch bei Sonnenschein zugeführten Kunstregen. *Ball*<sup>1)</sup> sieht hierin auf Grund theoretischer Erwägungen einen besonderen Vorteil für die Ertragssteigerung; er geht von der Tatsache aus, daß die üppigste Vegetation in den Gebieten mit gleichzeitig großer Wärme und hoher Luftfeuchtigkeit (Tropen) herrsche und man ja auch durch Schaffung ähnlicher Verhältnisse das Wachstum in Gewächshäusern auf diese Weise so günstig wie möglich zu gestalten suche. *Ball* folgert nun daraus, daß man die Beregnung möglichst in den warmen Mittagsstunden vornehmen solle, um damit die durch sie bedingte gesteigerte Wasserabnahme in der Zelle, die Transpiration, herabzusetzen und so die Assimilation auf voller Höhe zu erhalten. «Die Höhe der Luftfeuchtigkeit um die Mittagszeit ist für die Höhe des Ernteertrages bedeutungsvoller als die Höhe der Niederschläge. Je höher diese Luftfeuchtigkeit, um so höher auch der Ertrag.» Wir müssen uns aber darüber klar sein, daß wir mit der Zuführung des Kunstregens in der Mittagssonne tropische Verhältnisse oder solche im Gewächshaus nicht nachahmen können; zeigten doch unsere Feststellungen, daß der künstliche Regen selbst in der Nähe der Regner die Luftfeuchtigkeit nicht oder nur ganz vorübergehend zu verändern vermag. Im Gegensatz zu *Ball* spricht — ganz abgesehen von dem vielfach für die Beregnung benutzten billigeren elektrischen Nachtstrom — alles für die vermehrte Anwendung der Regengaben zu den Abend- und Nachtstunden, in denen die Verdunstungsverluste am geringsten sind. Außerdem liegt das Zuwachsmaximum der Pflanze in der Zeit der größten Temperaturdepression, also in den Nachtstunden. Wird sie durch die Beregnung begünstigt, mehr gesichert oder gar verlängert, so wird mit ihrem Einfluß auf das Pflanzenwachstum auch ein günstiger auf die übrigen Vorgänge in der Pflanze, wie besonders auf die Assimilation, ausgeübt. Daß dieses zutrifft, zeigten wiederholte Ver-

<sup>1)</sup> *Ball*: Betrachtungen über die pflanzenphysiologischen Grundlagen der künstl. Beregnung. Diss. Berlin 1934.

suche von uns; so war der Kornertrag von *Phaseolus* bei Tagberegnung 100, bei Nachtberegnung dagegen 128; Kartoffeln wiesen nicht immer eine größere Knollenmenge, wohl aber bei Nachtberegnung einen höheren Stärkeertrag auf.

Ein wesentlicher Unterschied zwischen Natur- und Kunstregen liegt weiter in der sehr verschiedenen Dichte beider. Wenn die neueren Weitstrahlregner gegenüber den älteren Kurzstrahlregnern schon einen wesentlichen Fortschritt in dieser Hinsicht bedeuten, so können wir doch nie die geringe Dichte der natürlichen Niederschläge damit ganz erreichen. In Deutschland bringen rund 74% aller Regenfälle weniger als 5 mm und das vielfach auf eine längere Zeit verteilt, so daß dabei die Regendichte oft weniger als 0,5 mm je Stunde beträgt. Damit aber wird bei beiden Regenarten ein sehr verschiedener Druck auf den Boden ausgeübt; unsere Untersuchungen haben immer wieder ergeben, daß der natürliche Regen lockernd, der künstliche dagegen zusammendrückend und daher den Luftgehalt verringern auf den Boden einwirkt. Diese Wirkung ist dem Entwicklungsgrade des ihn tragenden Pflanzenbestandes gemäß verschieden. Mit dem *Janert*-schen Durchlüftungsmesser vorgenommene Untersuchungen ergaben z. B. auf einem Gerstenfelde das Verhältnis der wirksamen Luftkanäle des Bodens in Anteilen der Bodenoberfläche unberegnet -- 100, 50-mm-Kunstregen vom 26. 5. bis 4. 6. . . . . -- 65, 60-mm-Kunstregen vom 8. 6. bis 28. 6. . . . . -- 100.

Außerdem verkrustet der künstliche Regen infolge seiner größeren Regendichte die Oberfläche des Bodens leicht, und zwar um so mehr, je trockener derselbe ist. Mit einer rechtzeitigen Anwendung des Kunstregens, d. h. also, so lange der Boden noch etwas feucht ist und daher in geringerem Maße zur Krustenbildung neigt, können wir diesen Nachteil verringern. Gleichzeitig erreichen wir damit, daß weniger Regen zur Auffüllung der Wasserkapazität der oberen Bodenschichten verbraucht und damit von diesen festgehalten wird. Er dringt also tiefer in den Boden ein, steht damit den Pflanzenwurzeln eher zur Verfügung und geht so vor allem weniger schnell wieder durch Verdunstung verloren. Unsere Untersuchungen über den Einfluß von natürlichem und künstlichem Regen auf lehmigen Sandboden<sup>1)</sup> ergaben z. B. bei Grünland nach 10 bzw. 5 mm Kunstregen auf 20 cm Bodentiefe einen Feuchtigkeitsgehalt, der je nach dem *vor* der Beregnung herrschenden, zwischen 3,4 und 9,4% schwankte. Aus allen diesen Tatsachen erklärt sich unsere Feststellung, daß zur Verminderung der Bodenfeuchtigkeit nach natürlichem Regen eine größere Wärmesumme erforderlich ist als nach künstlicher Beregnung. Während zur Verringerung der Bodenfeuchtigkeit eines lehmigen Sandbodens um 1% nach natürlichem Regen eine Wärmesumme von 64° C notwendig war, genügten nach i. D. 5, 10 und 20 mm Kunstregen dafür auf Grünland 17—20° C, auf einem Sommerroggenfeld 20° C und auf Brache 25—28° C; mit andern Worten war zur Verringerung der Bodenfeuchtigkeit durch Verdunstung um die gleiche

<sup>1)</sup> *Freckmann und Brouwer*: Untersuchungen über den Einfluß von natürlichem und künstlichem Regen auf die Feuchtigkeitsverhältnisse eines lehmigen Sandbodens. Landw. Jahrbücher 1932.



Wassermenge bei natürlichem Regen die erforderliche Wärmesumme = 100, bei Kunstregen je nach Kulturart = 25—30.

Die Bearbeitung des Bodens vor der Beregnung durch Hacken oder Eggen und die Anwendung der entsprechenden Maßnahmen einige Zeit nachher können die Ausnutzung des verbrauchten Wassers außerdem beeinflussen. Auch ist ferner der Strandraum der Pflanzen vor allem bei Hackfrüchten zu beachten; ein nicht zu enger, sich aber bald schließender ist naturgemäß günstiger als ein zu dichter oder nicht genügend geschlossener.

Von Bedeutung ist außerdem die Beeinflussung der Temperaturverhältnisse des Bodens durch den Regen. Natürliche Niederschläge und Kunstregen müssen sich in dieser Hinsicht um so mehr unterscheiden, je kälter das für die Beregnung verwendete Wasser und je trockener der Boden ist. Die alte Erfahrung besonders des Gärtners spricht dafür, nach Möglichkeit «abgestandenes oder temperiertes», der Lufttemperatur also angepaßtes Wasser zum Begießen oder zur Beregnung von Pflanzen aller Art zu verwenden, um sie nicht durch zu kaltes zu erschrecken und damit u. U. eine Wachstumsstockung bei ihnen hervorzurufen. Diese Erfahrung ist zweifellos zutreffend, und zwar um so mehr, je empfindlicher die zu beregnende Pflanzenart ist. Wenn hier und da gemachte Versuche dagegen zu sprechen scheinen, so kann das an den bei der Wasserzufuhr herrschenden Umständen liegen; z. B. hat *Gerlach*<sup>1)</sup> 1909 in Bromberg Versuche durchgeführt, bei denen er Sommergerste vergleichsweise mit Wasser von 5—6°, 8—9° und 11—12° C beregnete; in allen Fällen war der Ertrag = 137 gegenüber ungedüngt und unbewässert mit 100. Selbstverständlich ist die Verwendung nicht der Lufttemperatur angepaßten, also z. B. kälteren Wassers bei der Beregnung nicht so bedenklich wie bei der Berieselung, einmal, weil sich bei jener das Wasser auf dem Wege durch die Luft ihrer Temperatur besser angleicht, und zwar um so mehr, je weiter der Weg durch dieselbe und je feiner seine Verteilung dabei ist (Weitstrahlregner), und außerdem, weil bei der Berieselung im allgemeinen die angewendete Wassermenge und damit die Beeinflussung der Bodentemperatur sehr viel größer ist. Tatsache bleibt jedenfalls, daß kaltes Wasser einen warmen Boden, und zwar nach unseren Beobachtungen bis zu etwa 3° C abkühlen und damit einen je nach Pflanzenart mehr oder minder hemmenden Einfluß auf das Wachstum ausüben kann. Wir schlugen daher seinerzeit vor, z. B. auf Grünland im Frühjahr nicht mit der Beregnung zu beginnen, ehe die Lufttemperatur wenigstens 17° C erreicht hat. Dasselbe gilt für Getreide, und zwar besonders für Wintergetreide, das während des Frühjahrs, während es seinen Wasserbedarf noch zur Genüge aus der Winterfeuchtigkeit des Bodens decken kann, eine Beregnung nicht lohnt, ja u. U. sogar empfindlich gegen eine solche ist, eine Erscheinung, die allein auf die damit bewirkte Bodenabkühlung zurückzuführen ist. In der Tschechoslowakei<sup>2)</sup> durch-

<sup>1)</sup> Mitt. des Kaiser-Wilhelms-Instituts für Landw. in Bromberg. Berlin 1909.

<sup>2)</sup> v. *Vrbensky*: Irrigation par aspersion, son influence sur la température du sol, quantité et qualité de la récolte. (Recueil des travaux des instituts des recherches agronomiques de la République Tchécoslovaque 1933.)

geführte Versuche haben sich eingehend mit der Beeinflussung der Bodentemperatur durch Beregnung beschäftigt und bei den in 3, 6, 16, 30 und 50 cm Tiefe vorgenommenen Beobachtungen festgestellt, daß die in den Stunden mit hoher Lufttemperatur angewendete Beregnung und die durch sie bedingte Erwärmung des Bodens in den «Mittellagen» längere Zeit hindurch anhielt, wohingegen die Oberfläche sich infolge der einsetzenden Verdunstung später abkühlte. Die Temperaturschwankungen waren im beregneten Boden zudem geringer als im unberegneten. Die zeitweise Erwärmung, vor allem die Bewirkung mehr gleichmäßiger Temperaturverhältnisse in den von den Wurzeln durchzogenen Bodenschichten sind aber in hohem Maße dazu angetan, die biologischen und chemischen Verhältnisse des Bodens zu beeinflussen und damit einen schnelleren Verzehr der Nährstoffe herbeizuführen. Nähere Untersuchungen darüber sind noch im Gange; für jene Annahme spricht auch schon die stets zu beobachtende Tatsache, daß in einem Jahr künstlich beregnete Felder im nächsten vielfach geringere Erträge bringen als nicht beregnete. Einen weiteren Anhalt bietet dafür der bei Beregnung sich schneller verringernde Humusgehalt des Bodens; so stellten wir i. M. von 0—10, 10—30 und 30—50 cm Tiefe von einem zum anderen Jahre eine Veränderung des Humusgehaltes eines lehmigen Sandbodens fest, und zwar:

bei nur Mineraldüngung	{ unberegnet	0,063 %
	{ beregnet	0,123 %
bei außerdem Gründüngung (i. M. von Klee und Lupinen)	{ unberegnet	0,140 %
	{ beregnet	0,113 %

Für den schnelleren Humusverzehr unter dem Einfluß der Beregnung ist auch die schon von *Löhms* in einem nicht ausgetrockneten Boden als stärker nachgewiesene Belebung seiner Mikroorganismenflora mit entscheidend. Muß uns also schon diese Tatsache dazu veranlassen, für reichliche Anreicherung des Bodens zu beregnender Flächen mit Humus zu sorgen, so ist es weiter die der Begünstigung des gesamten Wasserhaushaltes durch diesen, die uns mit Rücksicht auf eine möglichst günstige Gestaltung der Wirtschaftlichkeit der Beregnung dazu zwingt. In welchem Maße ausreichende Humuszufuhr diese steigert, haben wir an Hand unserer Versuche immer wieder nachweisen können. Der Mehrertrag eines älteren Grasbestandes war bei

	Kompost	Stalldünger
mit Beregnung . . . . .	+ 97%	+ 51%
ohne Beregnung . . . . .	+ 51%	+ 29%

Spätkartoffeln brachten bei zusätzlicher organischer Düngung (i. D. von verschiedenen Stalldüngermengen bzw. Klee- oder Lupinengründüngung) durch Beregnung einen Brutto-Mehrertrag im Werte von 358,10 *M* je ha gegenüber nur Mineraldüngung.

Oben wurde auch schon auf die Bedeutung des jeweilig zweckmäßigsten Zeitpunktes für den Erfolg der künstlichen Beregnung hingewiesen. Mangels genügender Erfahrungen und Beobachtungen wird dieser in der Praxis aber vielfach nicht entsprechend richtig gewählt; die Folge ist dann eine unbefriedigende Wirtschaftlichkeit

des Kunstregens. An sich hat naturgemäß jede Pflanze ihren höchsten Wasserbedarf in der Zeit ihres Zuwachsmaximums. Daneben haben, wie *Brouwer*<sup>1)</sup> an Hand seiner agrarmeteorologischen Untersuchungen nachgewiesen hat, die einzelnen Pflanzenarten aber auch noch besondere kritische Zeiten, in denen sie für eine Zusatzberegnung mit ihrem Einfluß auf den Boden besonders empfänglich oder unter Umständen auch empfindlich sind. Die Wintergetreidearten und besonders der Winterweizen ist in dieser Hinsicht schon genannt. Ähnlich ist es mit den Wurzelgewächsen, und zwar vor allem den Zucker- und Futterrüben wie den Kartoffeln. Erstere haben infolge ihrer langsamen Anfangsentwicklung, verbunden mit einem schnellen Wurzeltiefgang, in den ersten zwei bis drei Wachstumsmonaten einen geringen Wasserbedarf.

Ebenso trifft das für die Kartoffel zu, die bekanntlich in den ersten Wochen ihres Wachstums denselben aus der Pflanzknolle ergänzen kann. Infolgedessen ist sie während dieser Zeit mehr für Wärme als für reichliche Wasserzufuhr dankbar, die auch hier zu Erscheinungen der Wachstumshemmung führen kann. Im Gegensatz dazu steht vor allem der Hafer, dessen Nährstoffaufnahme in den ersten Wochen nach dem Aufgang relativ am größten ist, und der zur schnellen Entwicklung seines Wurzelsystems eine niedrige Bodentemperatur und genügend Feuchtigkeit in dieser Zeit besonders liebt. Stellen wir also beide durch künstliche Beregnung sicher, so beeinflussen wir damit seinen Ertrag günstig, vorausgesetzt, daß es ihm auch während des stärksten Wachstums kurz vor dem Herausschieben der Rispen nicht an Wasser fehlt. Letzteres trifft natürlich auch für die Pflanzen mit an sich anfangs niedrigem Wasserbedarf wie den Hackfrüchten zu. Herrscht, wie trockene Jahre das immer wieder zeigen, in dieser Zeit ein Mangel an Wasser, der vielleicht so weit geht, daß er ihre Entwicklung beeinträchtigt, so können sie auch später reichliche Wassermengen nicht so gut ausnutzen, eine Erscheinung, die sie sowohl durch geringere Erträge wie u. U. durch eine unbefriedigende Beschaffenheit derselben beweisen. Es ist das in der bekannten Tatsache begründet, daß Pflanzen, die zunächst mit wenig Wasser auszukommen gezwungen sind, sich eine gewisse Dürresistenz etwa im gleichen Maße aneignen, wie reichlich feucht gehaltene sich an einen Luxusverbrauch gewöhnen, der bei späterem, auch nur vorübergehend knappem Wasservorrat ihren Ertrag empfindlich beeinträchtigen kann.

Aus unseren zahlreichen Beobachtungen nur einige Beispiele für das Vorstehende.

Winterweizen:	unberegnet	46,0	dz/ha	Korn
je 15 mm Kunstregen	26. 5.	44,3	»	»
	1. 6.	52,1	»	»
	26. 5. + 1. 6.	47,9	»	»

Das Jahr war, wie die Erträge zeigen, an sich ein außerordentlich günstiges für das Getreide; im Mai und Juni war es warm und

<sup>1)</sup> *Brouwer*: Beregnungszeitpunkt und Beregnungserfolg. (Die Feldberegnung III. Folge, Berlin 1936.)

Mitte Mai bis anfangs Juni trocken; dann fielen bis über Mitte Juli hinaus reichlich Niederschläge. Die künstliche Beregnung am 26. 5. hat als Unterbrechung der warmen und trockenen zweiten Maihälfte deutlich schädigend auf den Kornertrag des Weizens gewirkt. Das kommt auch in dem Ertrage klar zum Ausdruck, der mit Beregnung am 26. 5. und 1. 6. erzielt war. Den mit der Regengabe am 26. 5. bewirkten Ertragsausfall vermochte auch die günstige Wirkung derjenigen vom 1. 6. nicht ganz auszugleichen.

Ein anderes Beispiel, ebenfalls für Winterweizen, aus einem April, Mai und vor allem Juni über sehr trockenen Jahr:

	unberegnet	38,3 dz/ha Korn
je 20 mm	19. 5. + 5. 6.	42,6 » »
Kunstregen am	19. 5. + 5. 6. + 20. 6. + 29. 6.	48,4 » »

Die beiden Regengaben am 19. 5. und 5. 6. hatten zwar den Ertrag um 4,3 dz an Korn gesteigert, aber während des Schossens fehlte es dann zu einer weiteren Ertragserhöhung an Feuchtigkeit. Gegen eine Schädigung durch die Regengaben am 19. 5. und 5. 6. war der Weizen hier weniger empfindlich, weil in dieser Zeit die mittlere Tagestemperatur niedriger als bei dem vorigen Beispiel lag.

Bei Hafer wurde in einem Fall folgende Ertragsbeeinflussung durch Kunstregen ermittelt:

	unberechnet	14,4	dz/ha	Korn
1 Regengabe (20 mm) am 15. 5. . . .		20,8	»	»
3 Regengaben (55 mm) am 2. 5., 1. 6., 7. 6.		21,9	»	»
4 Regengaben (75 mm) am 8. 5., 17. 5., 1. 6., 7. 6. . . . .		21,5	»	»

Die Niederschläge des April entsprechen in diesem Jahr dem Durchschnitt; Mai, Juni und Juli waren sehr trocken, bis Ende Juli und vor allem im August reichliche Niederschläge einsetzten. Die anfangs bzw. Mitte Juni gegebenen Kunstregen waren bestimmend für den Ertragsanstieg, der aber über im Mittel 7 dz nicht hinauskam, weil es dem Hafer vor allem Ende Juni an Feuchtigkeit fehlte. Ein weiterer Regen von 20 mm in dieser Zeit, der aus bestimmten Gründen unterblieb, hätte sicher den Ertrag nicht unwesentlich vermehrt.

Aus dem gleichen Jahr ein Beispiel mit Kartoffeln, von denen auch die hier als unberegnet bezeichneten im Vergleich mit den zweckmäßig beregneten durch ein paar kleine Kunstregengaben am Leben erhalten werden mußten. Die Ende Juli beginnenden und den August über anhaltenden reichlichen Niederschläge gleichen den ertragsmäßigen Erfolg der Beregnung so gut wie vollkommen aus; dagegen hatte die Wasserzugabe in dem trockenen Juni und anfangs Juli die normale Entwicklung der Kartoffel gesichert, die in einem Ertrage von guter Ausbildung und Beschaffenheit der Knollen so stark zum Ausdruck kam, daß der geldmäßige Erlös für die künstlich beregneten gegenüber den unberegneten Kartoffeln doch einen erheblichen Erfolg der Beregnung bedeutete. Es wurden geerntet:

	unberechnet	berechnet
Große, gesunde Knollen . . . .	197 dz/ha	293,5 dz/ha
Kleine, glasige Knollen . . . .	125 dz/ha	33 dz/ha
zusammen:	322 dz/ha	326,5 dz/ha
† durch Beregnung . . . . .	349 $\mathcal{RM}$ /ha	oder
abzüglich Beregnungskosten . .	125 $\mathcal{RM}$ /ha	
(125 mm) . . . . .	† 224 $\mathcal{RM}$ /ha.	

Derartige Beispiele könnte ich noch eine ganze Reihe anführen; die erwähnten zeigen zur Genüge, daß eine möglichst gute Anpassung der Kunstregengaben an die Witterungsverhältnisse und an den jeweiligen Entwicklungsstand der Kulturpflanzen Grundbedingung für sichere Erfolge ist. Bei weiter zunehmender Ausdehnung der Feldberegnung muß hierauf immer nachdrücklicher hingewiesen werden. Schließlich sei auch noch einmal daran erinnert, daß die verschiedenen Sorten der einzelnen Pflanzenarten durch eine sehr verschiedene Ausnutzungsfähigkeit des ihnen zugeführten Wassers ausgezeichnet sind, so daß auch die Berücksichtigung einer entsprechenden Sortenwahl mit in hohem Grade ausschlaggebend für den Beregnungserfolg ist. Unsere langjährigen Versuche zeigten z. B., daß die Ertragssteigerung je nach Sorte betrug:

bei Kartoffeln	an Knollen . . . .	6 - 62%
	an Stärke . . . .	5 - 57%
bei Getreide	an Korn . . . .	14 - 65%
	an Stroh . . . .	36 - 54%

Die kurzen Ausführungen zeigen, daß die Anwendung des Kunstregens eine möglichst gute Anpassung an die natürlichen Niederschläge und die Ansprüche der Pflanze in verschiedener Hinsicht verlangt, um befriedigende Erfolge damit zu erzielen. Werden diese Gesichtspunkte aber in entsprechender Weise berücksichtigt, läßt sich der Ertrag aller Kulturpflanzen, vor allem in bezug auf Höhe und Sicherheit, durch die künstliche Beregnung in sehr wesentlichem Maße steigern.

#### Literatur-Verzeichnis.

1. *Ball*: Betrachtungen über die pflanzenphysiologischen Grundlagen der künstl. Beregnung. Diss. Berlin 1934.
2. *Freckmann und Brouwer*: Untersuchungen über den Einfluß von natürlichem und künstlichem Regen auf die Feuchtigkeitsverhältnisse eines lehmigen Sandbodens. Landw. Jahrbücher 1932.
3. Mitteilungen des Kaiser-Wilhelms-Instituts für Landwirtschaft in Bromberg. Berlin 1909.
4. *v. Vrbensky*: Irrigation par aspersion, son influence sur la température du sol, quantité et qualité de la récolte. Recueil des travaux agronomiques de la République Tchécoslovaque 1933.
5. *Brouwer*: Beregnungszeitpunkt und Beregnungserfolg. Die Feldberegnung III. Folge, Berlin 1936.

## 20. Kulturtechnische Abwasserverwertung und Bewässerungsverfahren

Von

Dr. Ing. H. Schildknecht,

Privatdozent an der Eidg. Techn. Hochschule Zürich, Schweiz.

Die kulturtechnische Abwasserverwertung hat die Aufgabe, durch Nutzbarmachung von Dünger-, Wasser- und Anregungswert des Abwassers einerseits der Landwirtschaft zu dienen und andererseits das Schmutzwasser zu reinigen und damit unschädlich zu machen. Die Entwicklungsgeschichte der technischen Abwasserreinigungsmethoden beweist, daß der Abbau der Schmutzstoffe im Abwasser am raschesten vor sich geht, wenn neben einer möglichst großen abbaubenden Oberfläche die Luft ungehindert Zutritt hat. Diese beiden Grundsätze haben auch für die kulturtechnische Abwasserreinigung Geltung, weil ein ungestörter Abbau der Schmutzstoffe der Vegetation Nährstoffe verfügbar macht. Das Abwasser ist somit bei der Bewässerung mit einer großen wirksamen Bodenoberfläche in Berührung zu bringen, und die Umsetzungen haben im Boden unter aeroben Bedingungen zu erfolgen. Da die Wirkung dieser beiden Faktoren in erster Linie von der Wahl des Bewässerungsverfahrens abhängt, ist es für die kulturtechnische Abwasserverwertung von fundamentaler Bedeutung, nach welcher Methode die düngende Bewässerung erfolgt. Je nach der Lage der Verteilungseinrichtungen für das Bewässerungswasser gegenüber der Bodenoberfläche lassen sich die Bewässerungssysteme in drei Gruppen einteilen, nämlich die Untergrundbewässerung, die Oberflächenbewässerung und die Feldberegnung.

Die *Untergrundbewässerung* zeichnet sich dadurch aus, daß nach Verlegung eines Verteilnetzes in den Boden das Bewässerungswasser unter schwachem Druck entweder aus den Rohrfugen oder durch die Wandungen von Spezialrohren in den Boden gegeben wird und sich dort kapillar verteilen soll. Da bei dieser Anordnung durch Verdunstung und Versickerung nur wenig Bewässerungswasser verlorengehen kann, beansprucht die Untergrundbewässerung kleine Wassermengen. Es ist deshalb verständlich, daß ihre Verwendungsmöglichkeit hauptsächlich in wasserarmen Gebieten geprüft worden ist. In der modernen Bewässerungspraxis wird aber die Untergrundbewässerung in größerem Ausmaße nur in Einzelfällen mit besonders gearteten Bodenverhältnissen ausgeübt (30). Da die Leitungsabstände eines Untergrundverteilnetzes selbst in Böden mit günstigen Kapillaritätsverhältnissen zu 1 m bis 3 m Entfernung gewählt werden müssen, falls ein wellenförmiger Stand der Kulturen verhütet werden

soll (13), kann die Untergrundbewässerung im normalen Landwirtschaftsbetrieb nicht wirtschaftlich sein. Zudem werden billig erstellte Rohre mit porösen Wänden, die Zement als Bindemittel haben, in ariden Bodenprofilen rasch zerstört.

Die Untergrundverrieselung von Abwasser wird auf Farmen der U. S. A. schon seit mehr als zwei Jahrzehnten praktiziert (2), (20), (33), (34), wobei auf eine gute Durchlüftung der Verteilungssysteme geachtet wird. Die Lüfterneuerung im Boden wird zu erreichen versucht durch die Vorbelüftung der Klärgruben in Verbindung mit Belüftungsleitungen im Boden und durch automatische, intermittierende Beschickung der Rohrnetze, ähnlich wie es bei neueren europäischen Verfahren der Fall ist (3). Dennoch arbeiten diese Untergrundverrieselungsanlagen nicht störungsfrei. Sie leiden unter der Verschlämmung und Verkittung der Verteileinrichtungen, sei es bei Überbelastung durch die Verpilzung der Rohre (14), oder bei Luftmangel durch die Ausscheidung von Eisenschlamm (15, 279—283). Nach einigen Jahren müssen daher die Verteilleitungen umgelegt oder aufgegeben und in einem anderen Bodenabschnitt neu erstellt werden (2, 19), (35). Alle Maßnahmen zur Belüftung der Untergrundsysteme, wie die zweistöckige Führung der Belüftungs- und Dränleitungen (20, 11), oder die Anlage von Doppelsystemen mit Umschaltung der Abwasserzufuhr zwecks Einschlebung von Entlüftungspausen für den Boden (34, 48—49), können nicht verhindern, daß die Belüftung des bewässerten Bodens meistens mangelhaft ist. Es hängt dies mit dem Umstand zusammen, daß eine rege Luftzirkulation im Drännetz selbst durchaus nicht einer zufriedenstellenden Bodendurchlüftung gleichzukommen braucht. Da die Praxis gezeigt hat, daß schon bei der Untergrundverrieselung von Reinwasser die Lüfterneuerung im Boden zu wünschen übrig läßt, ist diese Methode für die Abwasserbewässerung wenig geeignet. Das Verfahren hat der hohen Erstellungskosten wegen nur Anwendungsberechtigung in solchen Fällen, wo keine Vorflut besteht, und damit kleine Abwassermengen auf eine ästhetisch einwandfreie Weise im Boden beseitigt werden sollen.

Die zahlreichen Verfahren der *Oberflächenbewässerung*, wie sie in den Bewässerungsländern zwecks reiner Bodenannefeuchtung zur Anwendung gelangen, lassen sich in zwei Hauptgruppen einteilen. Man unterscheidet zwischen Einstaumethoden und Rieselmethoden. Ganz allgemein kann die Beobachtung gemacht werden, daß die Überstauung in der Bewässerungspraxis immer mehr an Ausbreitung verliert. Die gesammelten Erfahrungen beweisen, daß die Staumethoden den Landwirt erstens zur Überbewässerung mit ihren üblen Folgen für das Bodenprofil und die Kulturen verleiten, und zweitens die Böden dabei mehr oder weniger unter Luftabschluß geraten.

Es ist bedauerlich, daß früher für die kulturtechnische Verwertung des Abwassers fast ausschließlich die Stauverfahren herangezogen worden sind, sei es auf dem Wege der Überstauung der Horizontalstücke der Rieselfelder oder des mit Beetrießelei bezeichneten Furcheneinstaus. Diese Wahl geschah unter Vernachlässigung landwirtschaftlicher Bedürfnisse mit dem Bestreben, auf einer kleinen

Fläche möglichst große Abwassermengen zu beseitigen. Die meisten Rieselfelder sind deshalb, kulturtechnisch betrachtet, keine Bewässerungsanlagen, sondern nur Bodenfilter mit sekundärer landwirtschaftlicher Nutzung des Bodens. Die vom *U. S. Department of Agriculture* (6), (7), (8), (9), (10) veröffentlichten Bewässerungskarten für die Trockengebiete der U. S. A., die die Ergebnisse einer großen Zahl von Bewässerungsversuchen in Vorschläge angenäherter Bestbewässerungshöhen zusammenfassen, schlagen jährliche Wasserhöhen von nur 0,30 bis 0,95 m vor. Die Reisbewässerung, die bekanntlich den größten Wasserverbrauch hat, weil die Felder vom Zeitpunkt der Anpflanzung an bis zwei Wochen vor der Ernte unter Wasser gesetzt sein müssen, erfordert Bestbewässerungshöhen von 1,5 bis 3,4 m Wasserhöhe im Jahr (10, 21). Demgegenüber sind nach *Weise* (36, 602) auf dem Berliner Rieselfeld Wansdorf 7,45 m Abwasser im Jahr aufgegeben worden. Auch auf anderen Rieselfeldern, die in humiden Klimazonen liegen, werden heute Wasserhöhen aufgebracht, die mehrere Meter betragen. Dabei ist noch auf die Tatsache hinzuweisen, daß bei der düngenden Anfeuchtung, vom Standpunkt der Wasserleistung aus betrachtet, die Bewässerungshöhe kleiner gewählt werden soll. Langjährige amerikanische Bewässerungsversuche (1), (22), (23), (37) beweisen, daß in einem gedüngten Boden weniger Wasser notwendig ist, um eine festgelegte Erntemenge zu erzielen, als wenn der gleich große Ertrag in einem ungedüngten Boden erreicht werden muß. Es ist nicht verwunderlich, wenn durch das Aufleiten solch riesiger Abwassermengen bedeutende Nachteile sich zeigen. In erster Linie ist auf den Rieselfeldern die Beobachtung zu machen, daß das sich bildende Sickerwasser schwere Grundwasserschäden verursacht, und deshalb teure Entwässerungsanlagen gebaut werden müssen (21, 16), (26, 63), (27, 319). Diese Feststellungen decken sich vollkommen mit den Erfahrungen, wie sie bei der Überbewässerung in der Bewässerungspraxis arider Länder gemacht worden sind (4), (12), (29). Die bei der Einstauung verwendeten großen Wassermengen wirken sich aber auch auf die Kulturen ungünstig aus, sei es durch die Verminderung von Ertrag, Qualität und Haltbarkeit der Feldfrüchte, Verursachung von Lagerfrucht beim Getreide oder Erschwerung der Heuaufbereitung. Zu all dem sind überbewässerte Kulturen sehr dürr empfindlich, da sich die Pflanzen mit der Zeit auf die extrem humiden Bedingungen einstellen. Trotz der enormen Wassergaben sind auf Rieselfeldern häufig Dürreerscheinungen beobachtet worden (25, 308). Neben dem eigentlichen Wasserschaden kommt nun bei Rieselfeldern noch der zweite Nachteil hinzu, daß die Überlastung des Bodens mit Schmutzstoffen schädlich ist. Wenn auch bei den meisten Rieselfeldern eine bedeutende Anreicherung einzelner Pflanzennährstoffe festgestellt werden kann (24, 189), (28, 388), so besteht demgegenüber auch die Gefahr der Häufung schwer abbaubarer Stoffe. Daß eine starke Anreicherung schwer zersetzbarer Schmutzteile bei großen Abwassergaben mit den Jahren wirklich stattfindet, zeigt der Betrieb überlasteter Bodenfilter (5, 147). Durch die Verseifung und Verfettung des Bodenprofils von Rieselfeldern (24, 190), (25, 306), entsteht, wie *Schönwälder* (27, 317) zeigt, Luft-



mangel im Boden, was Ertragsausfall bedeutet. Es ist deshalb verständlich, wenn in England (19, 68) und den U. S. A. (32, 768) die Rieselfelder besonders in schweren Böden aufgegeben worden sind. In neuerer Zeit ist vorwiegend in Deutschland eine Abkehr von der verfehlten Praxis der alten Rieselfeldbetriebe zu bemerken. Es wird versucht, auf dem Wege einer weiträumigen Verteilung des Abwassers, sei es durch wilde Rieselung, Rieselung im natürlichen Hangbau oder durch Furchenbewässerung, die nachteiligen Folgen, die den Rieselfeldern anhaften, auszuschalten. Da aber durch die erwähnten Bewässerungsverfahren eine gleichmäßige Wasserverteilung kaum zu erreichen ist, und zum Teil die Sickerverluste bedeutend sind, müssen immer noch große Abwassermengen von 60 cm bis 170 cm Wasserhöhe verabreicht werden (18, 212). Es wird sich daher empfehlen, durch Einführung der modernen amerikanischen Flächenrieselung (flooding between borders) (11), angewendet in Verbindung mit der Rillenbewässerung (corrugation irrigation) (17), diese Wassermengen ganz bedeutend zu verringern. Als Beispiel sei erwähnt, daß auf dem Umatilla-Bewässerungsprojekt in Oregon, U. S. A., der Wasserbedarf von 9,7 acre-feet per acre auf 5,7 acre-feet per acre zurückging, als die Furchenbewässerung durch die erwähnte Flächenrieselung ersetzt wurde (11, 27). Dieses Verfahren eignet sich noch besonders deshalb sehr gut für die Abwasserbewässerung, weil das Abwasser bei der Verteilung gut belüftet wird und auch die Böden nicht unter Luftabschluß geraten können. Eine Vorklärung des Abwassers und der Einbau von Dränungen erübrigt sich.

Die Entwicklung der Bewässerungstechnik hat gezeigt, daß die *Feldberegnung* das vollkommenste Verfahren der Bewässerung darstellt. Sie besitzt den Vorteil, ohne besondere Herrichtung des Landes bei allen Gefällsverhältnissen Anwendung finden zu können, während bei allen Oberflächenbewässerungsmethoden eine gleichmäßige Wasserverteilung ohne künstliche Vorbereitung der Bodenoberfläche sich nur schwer durchführen läßt. Auf dem Wege der Feldberegnung wird das Bewässerungswasser so weitgehend ausgenützt, daß schon aus technischen Gründen eine Überbewässerung der Kulturen fast nicht denkbar ist. Während die Regnergeräte sehr wohl zur Nachtzeit betrieben werden können, erlauben die meisten Verfahren der Oberflächenbewässerung eine Nachtbewässerung nicht, weil Erosionsschäden und örtliche Überlastung mit Wasser zu befürchten sind. Die Feldberegnung ist aber auch das idealste Verfahren für die Verteilung von Abwasser. Bei keiner anderen Methode wird das Abwasser so intensiv belüftet. Die fallenden Wassertropfen reichern ausgiebig Sauerstoff an. Da bei der Abwasserberegnung in Zentraleuropa mit Beregnungshöhen von unter 50 cm Wasserhöhe gearbeitet werden soll, und die Einzelgaben jeder Beregnung gering sind, steht dem Abbau der Schmutzstoffe ein bedeutender, ungestörter Bodenraum zur Verfügung. Zudem läßt sich das Beregnungsverfahren auch im Winter anwenden, sei es durch Verregnung des Abwassers auf die rauhe Furche oder durch Verbindung der Verregnung mit der Rohrverrieselung. Da das Abwasser eine bedeutende Eigenwärme aufweist und zudem die Salze im Abwasser den Gefrierpunkt

erniedrigen, ist die Abwasserberegnung selbst bei Temperaturen von  $-20^{\circ}\text{C}$  mit Erfolg durchgeführt worden (16, 53). Es besteht dabei die Möglichkeit, die Beregnungsanlagen dem Frostschutz dienstbar zu machen. In Florida, U. S. A., konnten beispielsweise Bohnen- und Kartoffelpflanzungen trotz Eintretens von Nachfrösten mit Temperaturen bis zu  $-5,6^{\circ}\text{C}$  durch Einschalten der Beregnungsgeräte vor dem Erfrieren behütet werden, während alle unberegneten Kulturen der Umgebung verdarben. Auch für die Schädlingsbekämpfung können die Abwasserverregnungsanlagen verwendet werden (31, 229). Leider sind die Erstellungskosten einer Beregnungsanlage so hoch, daß das Verfahren im allgemeinen nur bei intensiver Bewirtschaftung des Landes wirtschaftlich sein kann.

#### Literatur

1. *Bark, D. H.*: Experiments on the economical use of irrigation water in Idaho. U. S. Department of Agriculture. Department Bulletin 339, 1916.
2. *Bellon, H. L.*: A septic tank for farm homes. California Agricultural Experiment Station. Circular 82, 1933.
3. *Belge, P.*: Nicht Abwasserbeseitigung, sondern Abwasserverwertung. *Gesundh.-Ing.* 58, 67, 1935.
4. *Bloodgood, D. W.*: Drainage in the Mesilla Valley of New Mexico. New Mexico Agricultural Experiment Station. Bulletin 129, 1921.
5. *Dunbar*: Untersuchungen über die Abwasserreinigung mittelst intermittierender Filtration in der Versuchsstation zu Lawrence. *Gesundh.-Ing.* 29, 145, 1906.
6. *Fortier, S.*: Irrigation requirements of the arable lands of the Great Basin. U. S. Department of Agriculture. Department Bulletin 1340, 1925.
7. *Fortier, S.*: Irrigation requirements of the arid and semiarid lands of the Missouri and Arkansas River Basins. U. S. Department of Agriculture. Technical Bulletin 36, 1928.
8. *Fortier, S.*: Irrigation requirements of the arid and semiarid lands of the Southwest. U. S. Department of Agriculture. Technical Bulletin 185, 1930.
9. *Fortier, S.*: Irrigation requirements of the arid and semiarid lands of the Columbia River Basin. U. S. Department of Agriculture. Technical Bulletin 200, 1930.
10. *Fortier, S.*: Irrigation requirements of the arid and semiarid lands of the Pacific Slope Basins. U. S. Department of Agriculture. Technical Bulletin 379, 1933.
11. *Fortier, S.*: The border method of irrigation. U. S. Department of Agriculture. Farmers Bulletin 1243, 1922.
12. *Hart, R. A.*: Drainage of irrigated farms. U. S. Department of Agriculture. Farmers Bulletin 805, 1925.
13. *House, E. B.*: Irrigation by means of underground porous pipe. Colorado Agricultural Experiment Station. Bulletin 240, 1918.
14. *Huth, E.*: Über die Verpilzung von Dränröhren auf Rieselfeldern. *Kleine Mitt. Preuß. Landesanstalt für Wasser-, Boden- und Luftthygiene* 2, 1926.
15. *Kolkwitz, R.*: Die Hygiene der Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung. Leipzig 1911.
16. *Kostka, P.*: Ist die landwirtschaftliche Verwertung der Städteabwässer wirtschaftlich? *Das Grünland. Sonderheft* 1926.
17. *Marr, J. C.*: The corrugation method of irrigation. U. S. Department of Agriculture. Farmers Bulletin 1348, 1923.
18. *Meister, und Stein*: Die landwirtschaftliche Verwertung von Abwässern der Stadt Leipzig durch die Delitzscher Wasserverwertungsgenossenschaft. *Gesundh.-Ing.* 58, 209, 1935.

19. *Mitchell, G. A.*: Observations on sewage farming in Europe. Engineering News-Record Jan. 8, 1931.
20. *Musselman, H. H.*: The septic tank and tile sewage disposal system. Michigan Agricultural Experiment Station. Special Bulletin 119, 1923.
21. *Neuhaus, R.* Die landwirtschaftliche Ausnützung und Wirtschaftlichkeit städtischer Rieselfeldanlagen. Diss. Bonn 1927.
22. *Powers, W. L.*: Irrigation of alfalfa. Oregon Agricultural Experiment Station. Bulletin 189, 1922.
23. *Powers, W. L.*: Supplemental irrigation for the Wilamette Valley. Oregon Agricultural Experiment Station. Circular 57, 1924.
24. *Reichle und Stoof*: Untersuchungen über die Rieselfeld- und Bodenfilteranlage der Stadt Quedlinburg am Harz. Techn. Gemeindeblatt 26, 167, 1924.
25. *Ruths, H.*: Fünfzig Jahre Berliner Rieselgüter. Berlin 1928.
26. *Schneider, K.*: Die rationelle Verwertung der Stadtabwässer in der Landwirtschaft. Leipzig 1931.
27. *Schönwälder, B.*: Die Rieselfeldanlagen zur Reinigung städtischer Abwässer in Niederschlesien. Kulturtechniker 30, 311—327, 1927.
28. *Schönwälder, B.*: Die Rieselfeldanlage in ihrer Abhängigkeit von der Wasserdurchlässigkeit des Bodens. Kulturtechniker 31, 361—391, 1928.
29. *Smith, G. E. P.*: Use and waste of irrigation water. Arizona Agricultural Experiment Station. Bulletin 101, 1925.
30. *Stanley, F. W.*: Irrigation in Florida. U. S. Department of Agriculture. Department Bulletin 462, 1917.
31. *Thut, E.*: Die Abwasserverwertung in der Strafanstalt Lenzburg. Schweiz. Landw. Monatshefte 9, 224, 1931.
32. *Veatch, F. M.*: Settling tanks lighten burden on Tuscon sewage farm. Eng. News-Record Nov. 22nd 1928.
33. *Warren, G. M.*: Sewage disposal on the farm. Separate No. 712 from Yearbook of the U. S. Department of Agriculture 1916.
34. *Warren, G. M.*: Sewage and sewerage of farm homes. U. S. Department of Agriculture. Farmers Bulletin 1227, 1922.
35. *Weber, E.*: Abwasserbeseitigung durch Untergrundsverrieselung. Ztschr. für Gesundheitstechn. und Städtehygiene, Heft 3, 1933.
36. *Weise, E.*: Die Fortentwicklung der landwirtschaftlichen Bewässerung unter Verwertung der städtischen Abwässer. Die Bautechnik 13, 1935.
37. *Widtsoe, J. A.*: Irrigation investigations. Utah Agricultural Experiment Station. Bulletin 105, 1909.

## 21. Aufgaben und erste Ergebnisse der Forschung auf dem Gebiete der landwirtschaftlichen Abwasserverwertung

Von

Dr. Ing. habil. *A. Carl*, Berlin, Deutschland.

Die Landbehandlung des Abwassers ist ein Verfahren, das zum Zwecke der Reinigung bzw. Beseitigung der lästigen Abwasser seit langem angewandt wird. Die Erfahrungen dabei zeigten frühzeitig die wachstumsfördernde Wirkung des Abwassers. Diese Wirkung wurde auch auf den Rieselfeldern nutzbar gemacht, wobei jedoch das Hauptziel die Abwasserbeseitigung blieb und die benötigte Rieselfläche, die im allgemeinen erworben und aptiert werden mußte, auf ein Mindestmaß beschränkt wurde. Es hat nicht an Stimmen gefehlt, die immer wieder auf die Erzeugungsenergien des Abwassers hinwiesen. Die Auswertung dieser Möglichkeiten im größeren Umfange hatte aber zur Voraussetzung, daß dafür zwingende Notwendigkeiten bestanden. In Deutschland waren diese Notwendigkeiten folgende:

1. Die dichte Besiedlung in Verbindung mit der Industrialisierung führte zu einer außerordentlichen Vergrößerung des Abwasseranfalls. Die Wasserläufe wurden in unerträglicher Weise mit Abwasser belastet, so daß die Anforderungen an den Umfang der Abwasserreinigung erhöht werden mußten. Die biologische Nachbehandlung mit ihren erheblichen einmaligen und laufenden Kosten mußte in ausgedehntem Umfange zur Forderung erhoben werden. Damit wurde die Frage aktuell, wie man diese bei der künstlich-biologischen Reinigung fast ausschließlich unproduktiven Ausgaben unter Erreichung des gleichen abwasserwirtschaftlichen Zieles volkswirtschaftlich wertvoller gestalten könnte. Dieses Bestreben führte verstärkt zur Entwicklung und Durchführung der landwirtschaftlichen Verwertung dazu geeigneter Abwasser.

2. Zu dieser volkswirtschaftlichen Überlegung kam die wasserwirtschaftliche Notwendigkeit. Der Bedarf von Mensch und Industrie an gutem Wasser führt in den dicht besiedelten Gebieten zu einer Überbeanspruchung der Grundwasservorkommen, welche es als das Gebot eines vernünftigen Wasserhaushaltes erscheinen läßt, diese künstlich geförderten Wassermengen nicht auf dem Wege über den nächsten Vorfluter aus dem Ursprungsgebiet zu entführen, sondern möglichst festzuhalten. Dieser Forderung wird die landwirtschaftliche Abwasserverwertung in bester Weise gerecht.

3. Die sandig-kiesigen Böden, die in Deutschland allenthalben vorhanden sind — in Verbindung mit geringen und häufig schlecht verteilten Niederschlägen — bieten unsichere landwirtschaftliche Er-

zeugungsbedingungen, welche durch die landwirtschaftliche Abwasser-  
verwertung entscheidend verbessert werden können.

4. Die Erkenntnis der Notwendigkeit, insbesondere die Eigen-  
erzeugung pflanzlichen Eiweißes in Deutschland zu steigern, um die  
Ernährung des deutschen Volkes aus eigener Scholle sicherzustellen,  
rückt die Bewässerung in den Brennpunkt des kulturtechnischen  
Interesses. Damit ist der düngenden Bewässerung, der landwirtschaft-  
lichen Abwasserverwertung, auch unter diesem Gesichtspunkte der  
Weg geebnet.

Wir können mithin feststellen: In Deutschland ist die landwirt-  
schaftliche Verwertung städtischer und geeigneter gewerblicher Ab-  
wasser ein kulturtechnisch-landwirtschaftliches Problem von Bedeu-  
tung. Es ist deshalb notwendig, sich auch mit den wissenschaftlichen  
Grundlagen dieser Maßnahme zu beschäftigen.

Es muß vorausgeschickt werden, daß die exakt-wissenschaft-  
lichen Erkenntnisse auf dem Gebiete der landwirtschaftlichen Ab-  
wasserverwertung heute noch gering sind. Die Grundlagen für die  
Ausgestaltung neuzeitlicher Abwasserverwertungsanlagen liefern die  
Erfahrungen an den alten Rieselfeldern und die ersten Beobachtungen  
an den wenigen modernen Anlagen. Die aus den Erfahrungen der  
Rieselfelder zu ziehenden Schlüsse, insbesondere auch auf das Ver-  
halten des Bodens gegenüber der Abwasserbeschickung, müssen jedoch  
im allgemeinen indirekt gewonnen werden, d. h. aus dem Nichtauf-  
treten theoretisch denkbarer Schäden, Strukturänderungen und son-  
stiger Vorgänge muß auf das Verhalten des Bodens geschlossen  
werden. Diese Grundlage der Urteilsbildung ist verständlicherweise  
sehr unbefriedigend, insbesondere bei Rückschlüssen auf das Ver-  
halten des Bodens, da bei den Rieselfeldern fast ausschließlich leichte  
Böden benutzt wurden, während die Abwasserverwertung sich auch  
auf bessere, d. h. feinkörnigere Böden erstreckt. Es gilt deshalb,  
möglichst schnell exakte direkte Beurteilungsmaßstäbe zu gewinnen.  
Zur Bearbeitung dieser Aufgaben hat sich im Forschungsdienst  
(Reichsarbeitsgemeinschaft der Landbauwissenschaften) der Arbeits-  
kreis Abwasserverwertung gebildet, an dessen Arbeiten neben der  
Wissenschaft die zuständigen Behörden, Reichsernährungsministerium  
und Reichsnährstand usw., fördernd teilnehmen.

Bevor wir die Forschungsaufgaben betrachten, ein Wort zu der  
Arbeitsweise und den Zielen der Abwasserverwertung nach den heu-  
tigen Anschauungen. Das Ziel der landwirtschaftlichen Abwasser-  
verwertung ist eine möglichst weitgehende Nutzung der im Abwasser  
gebotenen wachstumsfördernden Faktoren. Das ist zu erreichen, ein-  
mal durch die Einbeziehung einer so großen Fläche in die Bewässe-  
rung, daß mit dem geringsten Aufwand an Abwasser je Flächen-  
einheit der optimale Ertrag erzielt wird, und weiter durch die Be-  
wässerung von Kulturen, welche eine besonders gute Auswertung  
des Abwassers erreichen. Dementsprechend geht in Deutschland das  
Streben dahin, die in die Bewässerung einbezogenen Flächen nur mit  
einer durchschnittlichen jährlichen Abwassermenge von etwa 300 bis  
400 mm zu beschicken und das Abwasser in erster Linie auf Dauer-  
grünland, Futteranbau- und Hackfruchtflächen zu nutzen.

Die gegenüber den Rieselfeldern alten Stiles sehr erhebliche Verminderung der je Flächeneinheit zugeführten Abwassermenge setzt zur Erreichung des angestrebten Erfolges Verteilungsverfahren voraus, welche die Wasserverluste durch Verdunstung und Versickerung in der Vegetationszeit herabdrücken und welche eine weitgehende Aufteilung der insgesamt zu verabreichenden Menge in Einzelgaben gestatten. Die Stauberieselung wird deshalb im allgemeinen als Verwertungsverfahren ausscheiden und lediglich für die Entlastungsflächen angewandt werden, die in Zeiten starker Niederschläge, starken Frostes oder in Zeiten, die aus landwirtschaftlich-betriebswirtschaftlichen Gründen für die Aufnahme des Abwassers ungünstig sind, das Abwasser zwecks Beseitigung, d. h. Versickerung, aufzunehmen haben. Die überwiegend angewandten Bewässerungsmethoden sind die Hang- und Furchenrieselung sowie die Verregnung, wobei die letztere meist auf den Sommer beschränkt wird, um im Winter der Wild-, Furchen- oder Rohrrieselung Platz zu machen.

Die gleichzeitig angestrebte Grundwasseranreicherung wird bei dieser technischen Lösung der Abwasserverwertung im Sommer kaum erreicht — in dieser Periode wird das zugeführte Abwasser fast restlos von den Pflanzen festgehalten und verbraucht — sondern im Winter, wenn die Verdunstung gering ist und das versickernde Abwasser nach Abbau seiner Verunreinigungen im Boden gereinigt dem Grundwasser zufließt. Je weiter die Größe der Wassermenge je Flächeneinheit reduziert wird und je weiter diese Menge in Einzelgaben in der Vegetationsperiode aufgelöst wird, um so ausgesprochener wird die Grundwasseranreicherung auf die Wintermonate verlegt. Die Größe des Versickerungsanteils wird dabei von der Durchlässigkeit des Bodens und der Bewässerungstechnik stark beeinflußt. Auf diese Fragen wird im Zusammenhang mit den Problemen des Wasserhaushaltes noch näher einzugehen sein.

Die Forschungsaufgaben auf dem Gebiete der landwirtschaftlichen Abwasserverwertung lassen sich etwa in folgende Gruppen gliedern:

1. Aufbereitung des Abwassers, Verteilung desselben und Bewässerungstechnik.
2. Landwirtschaftliche Nutzung der Bewässerungsflächen, ihre betriebswirtschaftliche Behandlung, die Verwertung der Erzeugnisse dieser Flächen.
3. Einfluß auf Boden- und Wasserhaushalt.
4. Klimatische Auswirkungen auf den bewässerten Flächen.

Im Abwasser sind eine ganze Reihe von Stoffen enthalten, deren Anteil, abhängig von der Entstehungsweise des Abwassers, von bereits im Gang befindlichen Umsetzungen u. a., schwankt. Beim Stickstoff wechseln außerdem noch die Formen, in welchen er auftritt, bzw. die Anteile dieser verschiedenen Formen. Es gibt bekanntlich für die Bestimmung der einzelnen Beimengungen verschiedene Verfahren, deren Ergebnisse oft auch erheblich voneinander abweichen. Es ist eine Aufgabe der Chemiker, festzulegen, welche Untersuchungsverfahren für die Ermittlung der verschiedenen Stoffe im Abwasser anzuwenden sind, wobei die Verfahren unter den besonderen Gesichts-

punkten, die für die Beschickung von Bodenflächen maßgebend sind, ausgewählt werden müssen. Die Untersuchung eines Abwassers wird sich zunächst in allen Fällen auf die Pflanzennährstoffe, Stickstoff, Kali, Phosphorsäure, erstrecken. Daneben wird man stets auf Kalk und Chlor untersuchen. Die Erhebungen werden noch ergänzt durch die Bestimmung des pH-Wertes, des Kaliumpermanganatverbrauches, sowie durch die anteilige Ermittlung der Schweb-, Schwimm- und Sinkstoffe. Vor der Verwirklichung einer Abwasserverwertung hat der Chemiker außerdem die Frage zu beantworten, ob in dem Abwasser Stoffe enthalten sind, die geeignet wären, die anzubauenden Kulturen zu beeinträchtigen bzw. die Bodenstruktur nachteilig zu beeinflussen. Nach meinen Beobachtungen erfolgt die Beantwortung dieser schwierigen Frage noch nach sehr verschiedenen individuellen Maßstäben. Gerade für die wissenschaftliche Arbeit ist es aber notwendig — für die Praxis im übrigen nicht weniger —, einen einheitlichen, untereinander vergleichbaren Untersuchungsbefund zu erhalten. Es ist deshalb festzulegen, nach welchen Gesichtspunkten diese Frage zu beantworten ist, und welche Erhebungen zu diesem Zwecke anzustellen sind.

Da diese Abwasserbeschaffenheit gerade bei den Städten in den verschiedenen Tagesstunden wechselt, macht sich die Untersuchung von Mischproben notwendig, um brauchbare Mittelwerte zu erhalten. Bereits vorhandene Vorschriften über die Entnahme und Behandlung derartiger Mischproben sind auf ihre Eignung zu prüfen und dann als verbindlich festzulegen.

Die Erledigung der skizzierten Aufgaben schafft die Grundlage für vergleichende Untersuchungen der Wirkung verschiedenartig zusammengesetzter Abwasser.

Art und Umfang der Vorreinigung des Abwassers vor der Verwertung sind Gegenstand lebhafter Auseinandersetzungen in den Fachkreisen. Es ist deshalb notwendig, durch vergleichende Versuche klarzustellen, in welchem Umfange aus hygienischen und technischen Gründen eine Vorreinigung erforderlich ist, und welchen Einfluß auf den Ertrag und die Bodenstruktur der Bewässerungsflächen der verschiedene Gehalt des Abwassers an absetzbaren Beimengungen aufweist. Es ist ebenfalls zu untersuchen, welche besonderen technischen Lösungen der Vorreinigung den Erfordernissen der landwirtschaftlichen Abwasserverwertung am besten gerecht werden. — Nach den bisherigen Erfahrungen ist mindestens eine Rechenanlage als Vorreinigung notwendig. Eine weitergehende Vorbehandlung des Abwassers kann bedingt sein durch die Gefahr von Schlammablagerungen in den Verteilleitungen bzw. -gräben, die zu Geruchsbelästigungen durch Faulvorgänge führen, und durch die Höhe der jährlichen Wassergabe. Große Wassergaben bei Staufiltern führen z. B. zu nachteiligen Krustenbildungen. Die Bodenstruktur kann ebenfalls weitergehende Forderungen an die Vorreinigung rechtfertigen. Durch die Innehaltung einer Mindestgeschwindigkeit des Abwassers von etwa 0,80 m/sec in geschlossenen Leitungen werden im allgemeinen Schlammablagerungen vermieden. In langen Rohrsträngen kann es aber trotzdem dazukommen, es ist deshalb auch zu prüfen, ob es zulässig er-

scheint, durch Chlorung, Belüftung oder andere Maßnahmen eine Frischhaltung des Abwassers sicherzustellen, und ob derartige Maßnahmen in den wirtschaftlichen Grenzen bleiben.

Baurat *Belge* in Köln vertritt den Standpunkt, daß das Abwasser vor der landwirtschaftlichen Verwertung ausgefault werden müsse, daß es dann einer kurzen Wiederbelüftung unterzogen werden soll und daß es nur in dieser Form zweckmäßig zu verwerten sei. Es lassen sich m. E. keine stichhaltigen Gründe für diese Theorie finden, trotzdem soll sie zum Gegenstand eingehender Versuche gemacht werden, um eindeutig Klarheit zu schaffen. Ist das Ergebnis negativ, so werden sich trotzdem wertvolle Schlüsse auf die Wirkung anaerob zersetzter Abwasser auf den Boden ziehen lassen. Diese Versuche werden noch in diesem Jahre mit Unterstützung des Reichsernährungsministers bei Köln in die Wege geleitet.

Bei dieser Gelegenheit wird auch zu prüfen sein, ob die Untergrundbewässerung einen aussichtsreichen Weg der landwirtschaftlichen Abwasserverwertung darstellt. Die bisherigen Erfahrungen mit Untergrundversickerungsanlagen bei Einzelgrundstücken sprechen dagegen, da nach einer Reihe von Jahren Verschlammungen der Sickerstränge eintraten, trotzdem auch dabei üblicherweise eine Ausfäulung des Abwassers der Versickerung vorausging. Neben diesen Untersuchungen der Betriebssicherheit von Untergrundbewässerungsanlagen wird auch die Frage der Versickerungsverluste und der Versorgung junger Kulturen mit noch wenig ausgebildeten Wurzeln mit Feuchtigkeit und Nährstoffen bei Böden mit geringer oder fehlender Kapillarität zu prüfen sein.

Abwasser bildet in geschlossenen Leitungen die sogenannte Sielhaut, welche aus mitgeführten Schlickstoffen besteht. Diese Sielhaut vermindert die Reibungsverluste in den Leitungen erheblich, so daß die Berechnung von Abwassertransportleitungen nach den üblichen Formeln meist zu ungünstige Werte ergibt. Das führt zuweilen zur Verlegung zu groß dimensionierter Leitungen und damit zu einer unnötigen Verteuerung solcher Anlagen. Es sind deshalb Versuche über die Reibungsverluste in Leitungen verschiedenen Materials und mit Abwassern verschiedener Zusammensetzung und Temperatur anzustellen, um einwandfreie Berechnungsgrundlagen zu gewinnen. Ähnliche Untersuchungen sind auch an offenen Gräben durchzuführen. Ermittlungen über das Auftreten von Korrosionen sind unter wechselnden Bedingungen langfristig anzustellen. Es ist dabei nach den bisherigen Erfahrungen als Ergebnis zu erwarten, daß derartige Schäden nicht auftreten, wenn die Sielhaut ständig erhalten bleibt.

Die Technik der Beregnung ist heute so weit entwickelt, daß grundlegende Neuerungen kaum zu erwarten sind, das gleiche gilt für die Berieselungstechnik, soweit sie nicht mit transportablen Geräten arbeitet. Derartige Geräte sind von verschiedenen Firmen entwickelt worden, und es besteht hier wahrscheinlich noch Aussicht auf eine Vervollkommnung, so daß auch die Maschinentechnik von der wissenschaftlichen Seite her die Elemente dieses Gerätes, vor allem eine einfache, leicht veränderliche Verbindung mit der Zubringerleitung, zu entwickeln suchen sollte. Allgemeine Untersuchun-



gen über den zweckmäßigsten Einsatz der Bewässerungsgeräte, über Arbeitsorganisation, Verschleiß der verschiedenen Anlageteile usw. haben die Untersuchungen der angeschnittenen technischen Fragen zu ergänzen.

Die Abwasserzufuhr schafft auf den damit bedachten Flächen grundlegend veränderte Erzeugungsbedingungen. Einmal besteht die Möglichkeit, die Abwassergaben zu variieren, und zwar nach dem Wasserbedürfnis zeitlich und mengenmäßig, andererseits befinden sich aber die Feuchtigkeit und die verschiedenen Nährstoffe in einem im Mittel festliegenden Verhältnis, das nur durch die Zugabe von Nährstoffen im Boden selbst ausgeglichen werden kann. --- Die Anbautendenz wird durchweg von anspruchsloseren zu anspruchsvolleren Kulturen gehen. Es werden im allgemeinen auf Böden, die von Natur einen ungünstigen Standort bieten, die Voraussetzungen für den Anbau von Kulturen geschaffen, die sonst nur auf besseren Böden angebaut werden können. Man kann nun aber nicht einfach die Sorten, welche sich auf guten Böden bewährt haben, auf die Bewässerungsflächen verpflanzen, und ebenso kann man nicht die Anbautechnik kopieren, sondern es muß an Hand eingehender Versuche für die verschiedenen Böden und die wechselnden klimatischen Bedingungen festgestellt werden, welche Sorten der einzelnen Kulturen sich für den vorliegenden Fall am ehesten eignen, welche Anbautechnik, Standweite, Bodenbearbeitung usw. zu wählen ist. --- Für die einzelne Kultur ist die Frage zu klären, zu welchen Zeiten unter den verschiedenen Boden- und Klimaverhältnissen die Bewässerung zweckmäßigerweise erfolgen muß, um einen optimalen Erfolg zu erzielen. Schließlich muß versuchsmäßig geprüft werden, welche Abwassermengen unter den verschiedenen Bedingungen die günstigsten Erfolge gewährleisten, und inwieweit ihr Gehalt an Pflanzennährstoffen der Ergänzung bedarf.

Die oben skizzierten Versuchsaufgaben sind außerordentlich vielfältig und sind nur durch mehrjährige Versuchsreihen befriedigend zu beantworten. Daß derartige Versuche für die wechselnden Boden- und Klimaverhältnisse wiederholt werden müssen, wurde bereits betont.

Einschlägige Versuche sind bei Breslau vor mehreren Jahren bereits durch *Zunker* durchgeführt worden, und sie sind in großem Umfange in den letzten Jahren in Mitteldeutschland an den dort erstandenen Abwasserverwertungsanlagen begonnen worden. Die Erfahrungen bei diesen Versuchsanstellungen zeigen, daß es nicht leicht ist, wissenschaftlich eindeutige Ergebnisse zu erhalten. Zunächst verlockt es, in einem Versuche möglichst mehrere Fragen zu untersuchen, ein Unterfangen, von dem die Praxis schnell abbringt. Je einfacher und beschränkter die Fragestellung ist, um so eher ist eine klare Beantwortung der gestellten Frage zu erzielen. Diese Tatsache zwingt, die Anzahl der Versuche stark zu erhöhen, stellt aber den einzigen Weg zum Erfolg dar. Die schwankenden Witterungsverhältnisse bedingen selbstverständlich die Fortführung jedes Versuches über wenigstens drei Jahre. Die Beregnung der Versuchspartellen gestattet im allgemeinen eine hinreichend genaue Bemessung und Verteilung der zuzuführenden Abwassermenge; bei der Berieselung dagegen ist

sowohl die Bemessung als auch die Verteilung der Abwassermenge wesentlich schwieriger. Die Versuchsfläche muß deshalb im Durchschnitt größer gewählt werden, um den unvermeidlichen Versuchsfehler gering zu halten. Daß die Versuche durchweg mit unbewässerten Vergleichsparzellen durchgeführt werden müssen, sei der Vollständigkeit wegen erwähnt.

Die bisher in Mitteldeutschland erzielten Versuchsergebnisse sollen hier nicht angeführt werden, da sie noch nicht den Anspruch auf Vollgültigkeit machen können. Immerhin sei erwähnt, daß abhängig von den jeweiligen Standortbedingungen sich doch schon bestimmte Sorten der einzelnen Kulturen herauschälen, die besonders auf die Bewässerung ansprechen. Bezüglich des Bewässerungszeitpunktes liegen in den Untersuchungen, welche *Brouwer* mit Reinwasser anstellte, wertvolle Anhalte vor, es erweist sich aber, daß bei der Abwasserverwertung teilweise auch wieder andere Zeiteinteilungen vorgenommen werden müssen.

Zu den Feldversuchen vorgeschriebener Art kommen noch diejenigen, welche auf die Ausbildung geeigneter Fruchtfolgen abzielen. Diese Untersuchungen stehen im engen Zusammenhang mit den noch zu behandelnden Fragen des Nährstoffhaushaltes im Boden. Sie hängen aber auch mit der Betriebsorganisation und mit den Verwertungsmöglichkeiten der Erzeugnisse zusammen. Deshalb müssen auch in dieser Richtung Studien angestellt werden, die sich auf die erforderlichen Betriebsumstellungen, auf die veränderten Erzeugungsbedingungen, auf die Verwertung und Konservierung der Ernte erstrecken.

Die Abwasserverwertung ändert für die bewässerten Böden das Gleichgewicht, das sich unter dem Einfluß der natürlichen klimatischen Verhältnisse eingestellt hatte. Ein neuer Gleichgewichtszustand muß gefunden werden, und es ist wissenschaftlich von Wert, zu wissen, wie die Entwicklung dahin vor sich geht. Die in bezug auf den Boden besonders interessierenden Fragen sind im übrigen folgende: Nährstoff- und Wasserhaushalt des Bodens, Veränderungen der Bodenstruktur durch chemische und physikalische Einwirkungen, Humusversorgung des Bodens, Einfluß auf den biologischen Bodenbefund.

Ebenso wie bei den Abwasseruntersuchungen scheint es auch hier in erster Linie notwendig, einheitliche Untersuchungsmethoden festzulegen, um in allen Fällen vergleichbare Ergebnisse zu erhalten.

Es fehlen heute noch genaue Ermittlungen über den Ausnützungskoeffizienten der im Abwasser enthaltenen Pflanzennährstoffe. Der Ausnützungsgrad ist für die verschiedenen Kernnährstoffe verschieden groß. Noch verhältnismäßig einfach werden sich Angaben über den Ausnützungsgrad bei Kali und Phosphorsäure machen lassen, dagegen bei dem hauptsächlichen Anteil, dem Stickstoff, sind die Schwankungen sehr erheblich. Die absolute Größe des Stickstoffanteiles und seine Erscheinungsformen wechseln, schon unter diesen Einflüssen ändert sich ständig der Koeffizient. Hinzu kommt, daß auf seine Größe außerdem noch die Durchlässigkeit des Bodens, die angebaute Kultur und schließlich die Jahreszeit von Einfluß sind.

Es ist dringend erforderlich, diese Beziehungen einwandfrei zu klären, um die Grundlagen für eine Nährstoffbilanz des bewässerten Bodens zu gewinnen. Erwünscht ist weiter die wertmäßige Erfassung des Zusammenhanges zwischen dem Chlorgehalt des Abwassers und dem Umfang der Kalkauswaschung bei verschiedenen Bodentypen, um der Praxis für die Kalkung den notwendigen Anhalt zu geben. Die pH-Wertbestimmungen würden dann nur noch die Bedeutung von Nachkontrollen haben. Diese Nährstoffbilanzermittlungen werden im übrigen auch über das Ausmaß der Nachwirkung der düngenden Bewässerung Aufschluß geben, eine Frage, die gerade für die Aufstellung der Fruchtfolgen von außerordentlicher Bedeutung ist.

*Janert* in Leipzig hat auf gedränten Flächen, deren Dränabfluß regelmäßig gemessen wird, mit Untersuchungen über den Nährstoff- und Wasserhaushalt des Bodens bei der Abwasserverwertung angefangen. Es haben sich dabei auch bereits interessante Beziehungen angedeutet, über die zu berichten ihm vorbehalten bleiben muß, es hat sich aber auch gezeigt, daß exakte Ergebnisse nur bei Lysimeterversuchen zu erzielen sind. Derartige Versuche sind kostspielig, sie stellen aber den einzigen Weg dar, um zu eindeutigen Ergebnissen zu kommen. Die *Janertschen* Untersuchungen werden deshalb mit Hilfe des Forschungsdienstes in diesem Jahre in dieser Richtung ergänzt. Es wird dann möglich sein, alle oben angeschnittenen Fragen des Nährstoff- und Wasserhaushaltes im Boden exakt klarzustellen. Einen besonderen Reiz werden Vergleichsversuche mit verschiedenen Böden bieten.

Eine Frage von Bedeutung ist weiter, ob sich unter dem Einfluß der Abwasserzuführung eine Aufbesserung des Humusgehaltes im Boden ergibt, bzw. durch welche ergänzenden Maßnahmen eine solche Entwicklung gefördert werden kann. Die Beantwortung dieser Frage wird für die Entscheidung, in welchem Umfange die bewässerten Flächen aus dem Mistumlauf ausgelassen werden können, und welche indirekte Wirkung die Bewässerung damit auch auf den nicht erfaßten Teil der Wirtschaft ausübt, von ausschlaggebender Bedeutung. In diesem Zusammenhange muß auch untersucht werden, welchen Einfluß die Abwasserzufuhr auf das Leben und die Zusammensetzung der Bodenorganismen hat.

Die Verschlickung des Bodens tritt unter dem Einfluß der Bewässerung in geringerem Umfange auf, als man zunächst erwartet. Es ist trotzdem zu untersuchen, wie man derartigen Erscheinungen außer auf dem rein mechanischen Wege begegnen kann.

Es wird von verschiedenen Seiten angeregt, auch ausgesprochene Niederungsmoorböden in die Abwasserverwertung einzubeziehen. Flächen, auf die gelegentlich einmal etwas Abwasser aufgebracht wurde, zeigen in einigen Fällen eine nachhaltige günstige Beeinflussung des Grasbestandes. Es wird vermutet, daß diese Wirkung auf der Zufuhr von Humusstoffen mit dem Abwasser beruht. Der Beweis ist aber erst noch durch entsprechende Versuche zu erbringen. Es ist schließlich auch versuchsmäßig zu ermitteln, ob Niederungsmoorflächen bei hinreichender Entwässerung eine regelmäßige düngende Bewässerung vertragen und lohnend gestalten. Derartige Versuche

dürften in Kürze mit Unterstützung des Reichsernährungsministeriums bei Kolberg eingeleitet werden.

Bei der Bewässerung größerer Gebiete stellen sich Grundwasserstandserhöhungen ein, die abhängig von der Durchlässigkeit des Bodens, den Vorflutverhältnissen und den Abwassermengen je Flächeneinheit verschieden hoch sind. Untersuchungen über die Beziehungen zwischen den Spiegelerhöhungen und den verschiedenen wirksamen Faktoren werden wertvolle Unterlagen für die Planung derartiger Anlagen liefern.

Es ist zu vermuten, daß das Mikroklima (bodennahe Klima) durch die düngende Bewässerung stark beeinflusst wird. Die Bewässerung erfolgt auch regelmäßig an Tagen mit an sich geringer Luftfeuchtigkeit. Die bewässerten Flächen werden an solchen Tagen eine hohe Verdunstung aufweisen, die ihrerseits wiederum Temperatursenkungen zur Folge haben müßte. Es wäre denkbar, daß an windstillen Tagen in Bodennähe auf diese Weise eine Erhöhung der Luftfeuchtigkeit einträte, die wiederum die Pflanzen vor übermäßiger Verdunstung schützte. Die Pflanzen hätten damit verstärkt Gelegenheit zur Assimilation, was einer indirekten Wachstumssteigerung gleichkäme. Es liegen noch keine eingehenden Arbeiten über diese Zusammenhänge vor, deshalb sind obige Überlegungen zunächst nur Hypothese, sie sollen lediglich die Richtung der Untersuchungen auf bodenklimatischem Gebiet zeigen.

Aus den bisherigen Erfahrungen mit der landwirtschaftlichen Abwasserverwertung haben sich die vorstehend skizzierten Forschungsaufgaben als wesentlich hervorgehoben. Es gibt selbstverständlich noch eine ganze Reihe von Einzelproblemen, die zu erörtern in diesem Rahmen aber zu weit geführt hätte. Es werden sich andererseits im Verlauf der Arbeit noch zahlreiche andere Aufgaben als prüfungswürdig herausstellen. Meine Ausführungen sollten lediglich nach dem Stande der heutigen Kenntnisse und der bisherigen Erfahrungen die wissenschaftlichen Ziele auf diesem wichtigen Gebiete zu umreißen suchen.

## 22. Vergleichende Untersuchungen über die Beregnungsbedürftigkeit des Bodens

Von

*Otto Fauser*, Stuttgart, Deutschland.

<i>Inhalt.</i>	<i>Seite</i>
1. Die Untersuchungsstellen . . . . .	200
2. Die Anordnung der Untersuchungen . . . . .	201
3. Die Untersuchungsverfahren. . . . .	202
4. Die klimatischen Verhältnisse . . . . .	206
5. Die Ergebnisse der Untersuchungen . . . . .	209
a) Schichtenfolge. . . . .	209
b) Kalkgehalt, Kornzusammensetzung und Be- netzungswärme . . . . .	210
c) Sickerversuche . . . . .	212
d) Porenraum, Wasser- und Luftgehalt . . . . .	213
6. Zusammenfassung . . . . .	215
7. Schrifttum. . . . .	216

Bei der Planung von Feldberegnungsanlagen wird zur Zeit noch viel zu wenig Gewicht auf die physikalische Beschaffenheit des zu beregnenden Bodens gelegt. Es erscheint deshalb angezeigt, über Bodenuntersuchungen zu berichten, die ich im Rahmen der im Gange befindlichen Erhebungen über die Möglichkeit der landwirtschaftlichen Verwertung der Abwasser der Stadt Stuttgart zu machen Gelegenheit hatte. Die Untersuchungen wurden in der Zeit vom 14.—26. Oktober 1935 ausgeführt.

### *1. Die Untersuchungsstellen.*

Die Aufgabe ging dahin, festzustellen, welches von vier Gebieten A—D in der Umgebung der städtischen Kläranlage Mühlhausen am Neckar für die Beregnung mit städtischem Abwasser in erster Linie geeignet erscheint. Zur Lösung dieser Aufgabe konnten nur Bodenuntersuchungen auf dem Felde in Frage kommen. In erster Linie war die Durchlässigkeit des Bodens in natürlicher Lagerung zu bestimmen. Dies geschah durch Sickerversuche. Da sich zu solchen frischgepflügter Boden nicht eignet, wurden zu den Untersuchungen Grundstücke ausgewählt, die Futtergewächse oder Gras trugen.

*Punkt A* liegt in der Luftlinie 2380 m nordwestlich des Verwaltungsgebäudes der Kläranlage in einer Höhe von 293 m über

NN auf einem Ackergrundstück, das zur Zeit des Versuchs mit Rotklee nach Sommergerste bestellt war. Es war am 15. September 1934 letztmals gepflügt und am 14. März 1935 zur Saat geeggt worden.

*Punkt B* liegt 1910 m nordwestlich des Verwaltungsgebäudes 287 m über NN auf einem Ackergrundstück, das im zweiten Jahr mit Luzerne nach Sommerroggen bestellt und letztmals im Dezember 1932 gepflügt worden war.

*Punkt C* liegt 1700 m südöstlich des Verwaltungsgebäudes 300 m über NN auf einem Ackergrundstück, das mit Rotklee nach Gerste bestellt und letztmals im Dezember 1934 gepflügt worden war.

*Punkt D* liegt 640 m nordöstlich des Verwaltungsgebäudes 225 m über NN auf einer Baumwiese. Es ist etwa 6 m vom oberen Rande eines 15 m hohen Bergabhanges entfernt.

Geologisch gehören die Punkte A, B und D dem Löß, der Punkt C dem Keuper an.

## 2. Die Anordnung der Untersuchungen.

An jedem der vier Punkte A—D wurden nach dem Versuchsplan, Abb. 1, zwei Gruppen von je drei Sickerversuchen ausgeführt. Der gegenseitige Abstand der Sickerversuche betrug innerhalb jeder

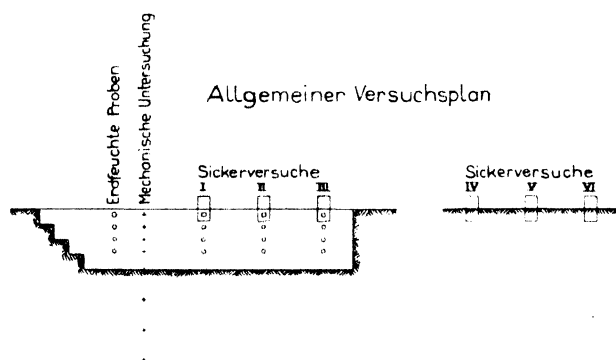


Abb. 1

Gruppe etwa 1 m. Ferner wurden an den Sickerstellen der ersten Versuchsgruppen in 10 cm, 30 cm, 50 cm und 70 cm Tiefe Bodenproben in natürlicher Lagerung entnommen und deren Porenraum, Wasser- und Luftgehalt bestimmt. Das gleiche geschah je an einem weiteren, etwa 1,5 m von der nächsten Sickerstelle entfernten Punkte zum Zwecke der Feststellung des Wasser- und Luftgehalts im erdfleuchten Boden. In den zur Entnahme der Bodenproben erforderlichen Gruben wurde außerdem die Art, Tiefenlage und Mächtigkeit der verschiedenen Bodenschichten, ihre Struktur, ihre Durchwurzelung sowie ihre Durchsetzung mit Rissen, Sprüngen, Steinen, Kalk- und Eisenabsonderungen bis in 1,0 m Tiefe durch Augenschein sorgfältig bestimmt.

Ferner wurden an der Grubenwand in den gleichen Tiefen wie an den Sickerstellen Bodenproben zum Zwecke der mechanischen Untersuchung sowie zur Bestimmung des Kalkgehalts und der Benetzungswärme entnommen. Endlich wurde der tiefere Untergrund bis in 2,5 m Tiefe mit dem amerikanischen Tellerbohrer abgebohrt und wurden in Tiefen von 1,0 m, 1,5 m, 2,0 m und 2,5 m Bodenproben zum gleichen Zwecke entnommen.

### 3. Die Untersuchungsverfahren.

Zu den *Sickerversuchen* wurden 400 mm hohe, 207 mm im Licht weite, unten von außen her angeschärfte eiserne Rohre von 3,6 mm Wandstärke verwendet, die zur leichteren Handhabung beim oberen Ende mit zwei gegenüberliegenden Greiflöchern versehen waren (Abb. 2). Zum Schutze gegen Niederschläge und Verdunstung wäh-

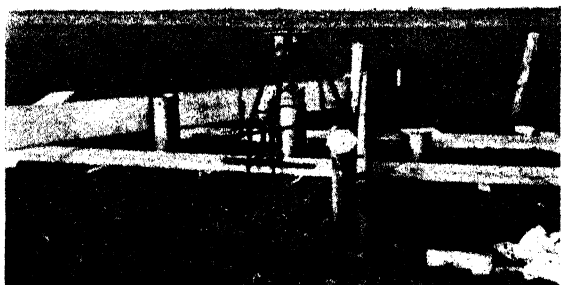


Abb. 2

rend der Versuche wurden Holzdeckel verwendet, die zapfenförmig in das obere Ende der Sickerrohre eingriffen (Abb. 2 und 4). Die Sickerrohre wurden mit einer in einem dreifüßigen Gestell angebrachten Schraubenwinde senkrecht von oben her 200 mm tief in den Boden eingepreßt. Das Gestell wurde auf waagrecht ge-

legten Dielen mit Schraubenzwingen festgehalten. Die Unterlagsdielen wurden durch hochkantig gestellte Dielen gegen das Abheben geschützt, die mit Bauklammern an mit Neigung gegen außen in den Boden geschlagenen Pfosten befestigt waren.

Zu den Sickerversuchen wurden solche Stellen ausgesucht, an denen die Bodenoberfläche möglichst eben und gleichmäßig und nicht von Sprüngen oder tierischen Gängen durchzogen war. Vor dem Eintreiben der Sickerrohre wurde der Pflanzenbestand an der Sickerstelle mit der Schere dicht über der Bodenoberfläche abgeschnitten und die abgeschnittenen Pflanzenteile entfernt. Auch wurden die Rohre so gesetzt, daß die freie Fläche zwischen zwei Drillreihen mitten durch das Rohr lief, um nachher bei der Entnahme der Raumproben nicht durch den Pflanzenwuchs gestört zu sein. Endlich wurden die Rohre vor dem Eintreiben in ihrer unteren Hälfte innen und außen mit Staufferfett eingeschmiert, um Randströmungen des einsickernden Wassers auszuschalten und um außerdem das Eintreiben zu erleichtern.

Die Sickerversuche selbst wurden entsprechend einem von mir schon vor 25 Jahren gemachten Vorschlag (2), den 10 Jahre später, unabhängig von mir, auch *Burger* (1) machte, mit einer Wassermenge vorgenommen, die einer 100 mm hohen Wassersäule über der Grundfläche der Sickerrohre entsprach. Diese Wassermenge wurde in eine Gießkanne gebracht, deren Brause mittels eines Schlauchstückes leicht beweglich angebracht war. Vor dem Beginn des Eingießens wurde die Brause so in das Sickerrohr eingeführt, daß sich ihre Unterfläche waagrecht etwa 10 cm hoch über der Bodenfläche befand. Hierauf wurde die Gießkanne angehoben und gleichzeitig mit dem Beginn des Wasseraustritts aus der Brause eine Stoppuhr in Tätigkeit gesetzt. Dann wurde zugewartet, bis der letzte Wassertropfen in den Boden eingesickert war, und in diesem Augenblick die Uhr abgestoppt. Die vom Beginn des Eingießens bis zur Beendigung des Einsickerns verflossene Zeit, ausgedrückt in Sekunden, ist die *Sickerzeit*.

Da die Wärme und damit die Zähigkeit des zu den Sickerversuchen verwendeten Wassers stark schwankte, so mußten die Sickerzeiten, um sie unter sich vergleichbar zu machen, auf eine einheitliche Wasserwärme umgerechnet werden. Als solche wurde die mittlere Jahreswärme des in der Kläranlage Mühlhausen ankommenden Abwassers verwendet, die 14,5° C beträgt. Die Zähigkeiten  $\eta$  des Wassers wurden mit der Formel von *Helmholtz*:

$$\eta = \frac{0,0178}{1 + 0,03368 t + 0,000221 t^2}$$

ermittelt, worin  $t$  die Wärme des Wassers in Grad Celsius bedeutet. Die beobachteten Sickerzeiten  $Z_x$  wurden mit der Formel

$$Z_{14,5} = Z_x \frac{\eta_{14,5}}{\eta_x}$$

auf die Sickerzeit  $Z_{14,5}$  bei 14,5° C umgerechnet.

Von der Durchlässigkeit des Bodens an den verschiedenen Punkten erhält man außerdem noch dadurch ein Bild, daß man die Wirkung untersucht, die das beim Sickerversuch dem Boden zugeführte Wasser auf den *Luftgehalt* des Bodens hat, denn die nach kräftiger Durchtränkung und Abzug des Senkwassers im Boden verbleibende Luft gibt einen Maßstab für dessen Gehalt an nicht kapillaren Hohlräumen, die für die Versickerung des Wassers in erster Linie in Betracht kommen. Den Luftgehalt, der nach einem unter mittleren Feuchtigkeitsverhältnissen des Bodens in der beschriebenen Weise durchgeführten Sickerversuch 24 Stunden nach beendetem Einsickern des Wassers 100 mm unter der Bodenoberfläche vorhanden ist, bezeichne ich als das *Luftthaltevermögen* (die Luftkapazität) des Bodens.

Der Luftgehalt  $L$  des Bodens ergibt sich, wenn man den Wassergehalt  $W$  des Bodens von seinem Porenraum  $P$  abzieht. Seine Berechnung aus der Formel

$$L = P - W$$

hat daher zur Voraussetzung, daß der Wassergehalt und der Porenraum des Bodens bekannt sind. Alle drei werden in Raumhundert-



stein des gewachsenen Bodens ausgedrückt. Zu ihrer Bestimmung ist deshalb die *Entnahme von Bodenproben* eines bestimmten Raumgehalts *in natürlicher Lagerung* erforderlich. Hierzu wurde bei den vorliegenden Untersuchungen ein Stechrohr von 31,371 cm<sup>2</sup> Grundfläche, 64 mm Höhe und 2 mm Wandstärke verwendet, das sich nach hinten kegelförmig um 3 mm erweitert und unten von außen her zu einer scharfen Schneide zugearbeitet ist (Abb. 3).

Um die Bodenproben aus den Sickerrohren zu entnehmen, wurde das Stechrohr mittels der oben beschriebenen Windevorrichtung senkrecht von oben her so in die im Sickerrohr

enthaltene Bodensäule eingedrückt, daß es genau in deren Mitte, also mit seiner Mitte 100 mm unter die Bodenoberfläche zu liegen kam. Zum Eintreiben wurde ein stählernes Aufsatzrohr benützt, das durch

einen oben in das Sickerrohr eingesetzten hölzernen Führungsring genau in der Achse des Sickerrohrs gehalten war (Abb. 4 und 5).

Nachdem das Entnahmerohr auf die gewünschte Tiefe eingetrieben war, wurde die Windevorrichtung entfernt, das Sickerrohr mit seinem ganzen Inhalt aus dem Boden ausgegraben, das Stechrohr vorsichtig aus seinem Innern gelöst, die Bodenprobe oben und unten mit einem scharfen Messer abgeschnitten, mittels eines Holzstempels aus dem Entnahmerohr herausgeschoben und sofort auf dem Felde in einem neben der Untersuchungsstelle aufgeschlagenen Zelt auf Zehntelgramme genau gewogen, nachdem zuvor

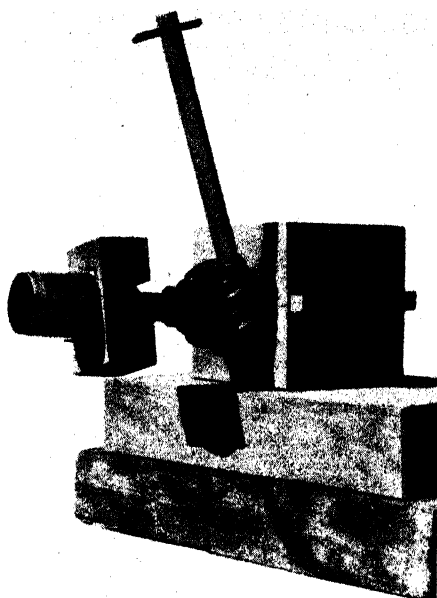


Abb. 3

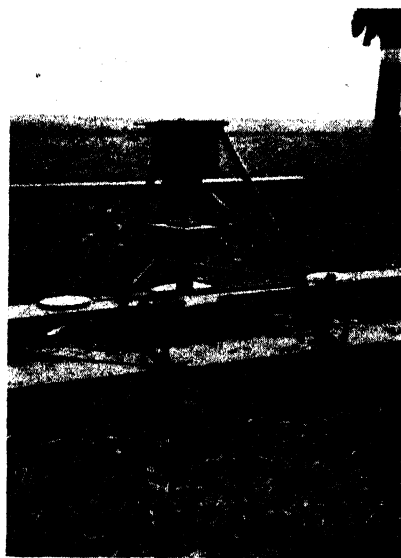


Abb. 4

mittels eines Lehrmaßes (Kalibers) ihre Höhe auf Zehntelmillimeter genau bestimmt war.

Zur Entnahme der übrigen Bodenproben, soweit sie in natürlicher Lagerung zu entnehmen waren, wurde das Stechrohr waagrecht



Abb. 5

in die zuvor senkrecht abgestochene Grubenwand eingetrieben. Zu diesem Zweck wurde die Schraubenwinde aus dem Dreifuß herausgenommen, waagrecht mit Holzklötzen unterlegt (Abb. 3) und gegen die hintere Grubenwand abgestützt. Das Stechrohr ist oben an seiner Außenseite mit einer Führung zur Aufnahme eines 11 mm hohen Aufsatzringes versehen. Dieser hat den Zweck, über dem Entnahmerohr einen Hohlraum zu schaffen, um ein Zusammendrücken der Bodenprobe durch die Windevorrichtung beim Eintreiben sicher zu vermeiden. Der Aufsatzring wird mittels seitlich eingetriebener Stifte an dem Holzaufsatz der Schraubenwinde befestigt. Nach dem Eintreiben wurde die Schraubenwinde langsam zurückgedreht und mit dem Aufsatzring vom Stechrohr abgehoben. Darauf wurde das Stechrohr mit scharfer Kelle ringsum freigelegt und im übrigen wie oben

beschrieben verfahren. Die Proben unterhalb der Sickerrohre wurden genau senkrecht unter deren Mitte entnommen.

Die Entnahme der Raumproben in den Sickerrohren erfolgte 24 Stunden, die der übrigen Raumproben der Sickerversuche im Mittel 45 Stunden nach dem Ende des Einsiekerens des Wassers in den Boden.

Die noch auf dem Felde mit der Hand zerkleinerten Bodenproben wurden ins Laboratorium gebracht und dort, nachdem sie lufttrocken geworden waren, bei 100–110° C so lange getrocknet, bis sich bei wiederholtem Wiegen ihr Gewicht nicht mehr änderte. Der *Wassergehalt* W, ausgedrückt in Raumhundertsteln des gewachsenen Bodens, ergab sich sodann aus der Beziehung

$$W = \frac{(G_w - G_t) \cdot 100}{R}$$

worin  $G_w$  und  $G_t$  die Gewichte der feuchten und der trockenen Bodenprobe in Gramm und R den Raumgehalt der Bodenprobe in natürlicher Lagerung, ausgedrückt in  $\text{cm}^3$ , bedeuten.

Der *Porenraum* des Bodens wurde in folgender Weise bestimmt:

Aus der getrockneten Bodenprobe wurden die *Wurzeln* sorgfältig ausgelesen, mit den Fingern von anhängenden Bodenteilchen gereinigt und gewogen. Ihr Raumgehalt  $W_z$  in  $\text{cm}^3$  wurde durch Division ihres Gewichts in Gramm mit 1,56, dem spezifischen Gewicht der Holzsubstanz, ermittelt.

Zur Bestimmung des von den *mineralischen Bodenbestandteilen* eingenommenen Raumes B wurde nach dem Vorschlag von *Burger* (1) ein Erlenmeyer-Kolben aus Kupfer benützt. Dieser wurde zunächst mit Wasserleitungswasser gefüllt, oben mit einer gut passenden Glas-

platte so abgestrichen, daß keinerlei Luftbläschen mehr in ihm vorhanden waren, und sodann mit seinem Inhalt und der aufgelegten Glasplatte gewogen. Das hierbei erhaltene Gewicht in Gramm wurde mit  $G_w$  bezeichnet. Hierauf wurde der Kolben teilweise entleert. In dem verbleibenden Wasser wurden die mineralischen Bestandteile der Bodenprobe vom Gewicht  $G_b$  Gramm eine halbe Stunde lang gekocht, um die Luft aus ihnen auszutreiben. Nach Abkühlung auf die Wärme des Wasserleitungswassers wurde der Erlenmeyer-Kolben mit Wasser vollends aufgefüllt, mit der Glasplatte sorgfältig abgestrichen und mit seinem Inhalt und der Glasplatte erneut gewogen, wobei sich ein Gewicht  $G_v$  Gramm ergeben haben soll. Der Rauminhalt der in der Probe enthaltenen mineralischen Bestandteile B ergibt sich hiernach zu

$$B = (G_w + G_b - G_v) \text{ cm}^3.$$

Der gesamte Rauminhalt der festen Bodenteile ist also  $(B + W_z)$  Kubikzentimeter oder mit dem Rauminhalt  $R \text{ cm}^3$  der Bodenprobe in Raumhundertstel umgerechnet

$$F = \frac{B + W_z}{R} \cdot 100 \text{ Raumhundertstel},$$

woraus sich der Porenraum P des gewachsenen Bodens zu  $P = 100 - F$  Raumhundertstel ergibt.

Die *Kornzusammensetzung* der Feinerde  $< 2,0 \text{ mm}$  des Bodens wurde mit dem Spülapparat von *Kopecký* in der in Württemberg üblichen Weise unter Vorbereitung des Bodens mittels des Koch- und Reibverfahrens bestimmt.

*Kalkbestimmungen* wurden nur bei den Bodenproben vorgenommen, die beim Benetzen mit verdünnter Salzsäure deutlich aufbrausten. Der Kalkgehalt wurde dadurch ermittelt, daß eine dem Gewicht nach bekannte Menge der lufttrockenen Feinerde mit einer ebenfalls dem Gewicht nach bekannten Menge verdünnter Salzsäure vermengt und die dabei entstehende prozentische Gewichtsabnahme mit 2,273 vervielfältigt wurde. Die Lößkindel wurden also bei den Kalkbestimmungen nicht berücksichtigt.

Die *Benetzungswärme* wurde nach dem Verfahren von *Janert* von diesem selbst bestimmt.

#### 4. Die klimatischen Verhältnisse.

Nach den Untersuchungen von *Kleinschmidt* (3) waren in der Gegend von Mühlhausen im Durchschnitt der Jahre 1891—1925 während der Wachstumszeit (April—September einschließlich) innerhalb 10 Jahren 25 sogenannte *Dürremonate* zu verzeichnen, wobei als Dürremonate bezeichnet sind die Monate April und September, wenn sie höchstens 50 mm Niederschlag aufweisen, die Monate Mai bis August, wenn in ihnen höchstens 60 mm fallen. Da es sich hier um mitteldurchlässige Böden handelt, so erscheint nach *Zunker* (8) in dem untersuchten Gebiete die Beregnung an sich um des Wasserwertes willen gerade noch empfehlenswert.

Da die Dürrehäufigkeitszahlen für die Beurteilung der Bewässerungsbedürftigkeit etwas unsicher sind, weil sie die Verdunstung nicht berücksichtigen, habe ich für das untersuchte Gebiet auch noch die *Befeuchtungszahlen* nach *Schildknecht* (6) ermittelt. Dieser bedient sich bekanntlich zur Berechnung seiner Befeuchtungszahlen des von *A. Meyer* entwickelten N-S-Quotienten (4), d. h. des Quotienten aus der Niederschlagshöhe und dem Mittelwert des Sättigungsdefizits der Luft. Die N-S-Quotienten werden für die Wachstumsmonate April bis September über eine möglichst lange Reihe von Beobachtungsjahren ermittelt. Ferner wird berechnet, wie oft sie durchschnittlich innerhalb eines Zeitraumes von 10 Jahren bestimmte Grenzwerte

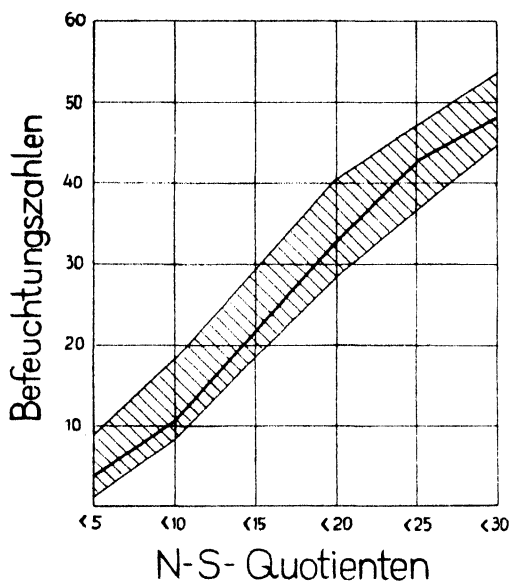


Abb. 6

unterschreiten. Die so ermittelten Befeuchtungszahlen werden in ein rechtwinkliges Achsenkreuz eingetragen, zu Befeuchtungslinien verbunden und mit Grenzwerten der Bewässerungsbedürftigkeit für humides Klima in Beziehung gesetzt, die von *Schildknecht* auf Grund umfangreicher amerikanischer Bewässerungsversuche festgestellt wurden (7). Diese Grenzwerte sind in Abb. 6 mit dünnen Linien eingetragen. Das Grenzgebiet der Bewässerungsbedürftigkeit ist schraffiert. Die untere Grenzlinie gilt für sehr intensive, die obere für extensive Wirtschaftsweise.

Zur Berechnung der Befeuchtungszahlen für das untersuchte Gebiet stehen die Beobachtungen des Luftamts in der Büchsenstraße in Stuttgart zur Verfügung, das in der Luftlinie 8,7 km von der Kläranlage in Mühlhausen entfernt 269 m über NN, also etwa in gleicher Höhe mit dem untersuchten Gebiete liegt, so daß seine Beobachtungen unbedenklich auf dieses übertragen werden können. Als Zeitraum wurden die Jahre 1891—1925 gewählt, die auch *Kleinschmidt* seinen Dürrehäufigkeitszahlen zugrunde gelegt hat. Hierbei ergaben sich folgende Befeuchtungszahlen:

N-S-Quotienten	<5	<10	<15	<20	<25	<30
1891—1925	13	37	76	116	150	169
in 10 Jahren	3,7	10,6	21,7	33,1	42,9	48,3

Die diesen Zahlen entsprechende Befeuchtungslinie ist in Abb. 6 stark ausgezogen eingetragen. Sie verläuft durchweg innerhalb des von *Schildknecht* ermittelten Grenzstreifens. Hiernach kann in Anbe-

tracht des Umstandes, daß die Nähe der Großstadt Stuttgart eine gute Absatzgelegenheit für die landwirtschaftlichen Erzeugnisse bietet, für das untersuchte Gebiet auch nach dem Verfahren von *Schildknecht* die Verregnung des Abwassers allein schon um seines Wasserwertes willen empfohlen werden.

Während der frostfreien Jahreszeit ist auf der Kläranlage Mühlhausen ein selbstschreibender Regenmesser im Betrieb. Die mit ihm gemessenen *monatlichen Niederschlagshöhen* sind in Tafel 1 zusammen-

Monat	mm Regenhöhe im Jahr 1933	mm Regenhöhe im Jahr 1934	mm Regenhöhe im Jahr 1935
Januar . . . . .	19,0 +	31,8 +	30,9 +
Februar . . . . .	20,9 +	13,1 +	75,4 +
März . . . . .	32,3 +	29,7 +	28,8 +
April . . . . .	31,5 +	36,9 +	100,6 o
Mai . . . . .	76,0 o	30,8 o	59,9 o
Juni . . . . .	103,4 o	57,8 o	72,3 o
Juli . . . . .	44,1 o	87,5 o	38,8 o
August . . . . .	21,4 o	110,3 o	76,5 o
September . . . . .	53,0 o	53,6 o	56,5 o
Oktober . . . . .	42,1 o	39,2 o	68,7 o
November . . . . .	44,5 +	30,7 +	16,4 +
Dezember . . . . .	13,9 +	27,9 +	45,4 +
Jährliche Regenmengen	502,1	549,3	670,2

Tafel 1

gestellt und mit einem o bezeichnet. Zur Ergänzung wurden für die Wintermonate die Messungen des Luftamts in der Büchsenstraße in Stuttgart herangezogen; sie sind in der Tafel 1 mit einem + bezeichnet. Aus der Tafel geht hervor, daß im Jahr 1933 die Monate April, Juli und August, im Jahr 1934 die Monate April, Mai und Juni und im Jahr 1935 die Monate Mai und Juli Dürremonate waren.

Aus den vom Reichswetterdienst für die benachbarte Hauptwetterwarte Hohenheim aufgestellten Ganglinien der Niederschlagssummen und der Fünftagemittel der Lufttemperatur, die in den Mitteilungen des Württembergischen Statistischen Landesamts (5) veröffentlicht sind, läßt sich ein ungefähres Bild davon gewinnen, in welchem Verhältnis der *Niederschlag* und die *Temperaturen*, die *vor den Untersuchungen* bei Mühlhausen geherrscht haben, zu den langjährigen Mitteln stehen. Hiernach entsprachen mit Ausnahme kurzer Regenzeiten zu Anfang Februar und Ende April 1935, die je ein Mehr von etwa 40 mm brachten, die Niederschläge bis Ende Juni dem vierzigjährigen Mittel. Dann folgte bis Mitte August eine achtwöchige Trockenzeit, in der die Niederschläge mit 34 mm um 115 mm hinter dem vierzigjährigen Mittel zurückblieben. Diese Trockenzeit war von einer Wärmewelle begleitet, die um vgl. 3° C über dem fünfundfünfzigjährigen Mittel lag. Von Mitte August bis Anfang September überstiegen sodann bei abnehmender Temperatur die Niederschläge mit

90 mm das vierzigjährige Mittel um 40 mm, worauf sich der Gang der Niederschläge wieder mehr dem vierzigjährigen Mittel anschloß. Ob die während der Trockenzeit des Juli entstandenen Verdunstungsverluste durch die folgenden Niederschläge ausgeglichen werden konnten, ist mit Rücksicht auf feine Sprünge, die zu Anfang der Untersuchungen da und dort auf der Bodenoberfläche zu beobachten waren, nicht ganz sicher. Auch scheinen Trockenrisse, die in den Probegruben im Untergrund der Lößböden da und dort angetroffen wurden, darauf hinzudeuten, daß die Folgen des sehr warmen, sehr sonnenreichen und sehr trockenen Jahres 1934 zur Zeit der Untersuchungen noch nicht überwunden waren. Immerhin werden die Feuchtigkeitsverhältnisse der Bodenkrume zu Beginn der Sickerversuche annähernd als mittlere bezeichnet werden können.

Nach den Beobachtungsstreifen des Regenmessers Mühlhausen brachten die ersten zwölf Tage des Monats Oktober 1935 im ganzen 23 mm Regen. Dann folgten fünf regenlose Tage, während derer die ersten Gruppen der Sickerversuche bei den Punkten A und B durchgeführt und die erste Gruppe der Sickerversuche beim Punkt C so vorbereitet wurde, daß diese drei Gruppen von Sickerversuchen, sofern man von der Verdunstung und dem Wasserverbrauch der Pflanzen absieht, unter genau gleichen Feuchtigkeitsverhältnissen erfolgten. Bis zur zweiten Gruppe der Sickerversuche bei Punkt C und bis zu den Sickerversuchen bei Punkt D fielen 5,65 mm, bis zur zweiten Gruppe der Sickerversuche bei Punkt B 15 mm, und bis zur zweiten Gruppe der Sickerversuche bei Punkt A 18,55 mm. Während der Regenzeiten wurden die zu den einzelnen Sickerversuchen gehörigen Probenahmen unter dem Schutze von Zeltdächern, die über den Probegruben errichtet wurden, durchgeführt, so daß die Ergebnisse der zu den einzelnen Sickerversuchen gehörigen Bodenuntersuchungen vom Regen nicht beeinflußt sind.

### 5. Die Ergebnisse der Untersuchungen.

a) *Schichtenfolge.* Die eingehende Besichtigung der Probegruben an den einzelnen Untersuchungsstellen und das Abbohren des tieferen Untergrunds ergab nachstehende Schichtenfolge:

*Punkt A.* 0—0,20 m schwach kalkhaltiger, brauner toniger Lehm Boden, stark durchwurzelt.

0,20—0,38 m kalkhaltiger, brauner Lehm Boden, stark durchwurzelt.

0,38—0,66 m schwarzbrauner toniger Lehm Boden mit scholligem Bruch, zahlreiche feine Würzelchen.

Von 0,66 m ab gelbbrauner bis bräunlichgelber Löß in Säulenstruktur, durchzogen von den dem Löß eigentümlichen feinen Röhren der Wurzeln der früheren Steppengräser, in 0,7 m Tiefe mit zahlreichen, in 1,0 m noch mit einzelnen feinen, frischen Würzelchen, von 1,0 m Tiefe ab stark kalkhaltig, von 1,8 m ab mit zahlreichen Schneckengehäusen und in 2,5 m Tiefe mit einzelnen Eisenkonkretionen von 1 mm Durchmesser. Der Löß mußte durchweg gehackt werden.

*Punkt B.* 0—0,20 m kalkhaltiger, brauner Lehm Boden, stark durchwurzelt.

Von 0,20 m ab stark kalkhaltiger, bräunlichgelber Löß mit zahlreichen Schneckengehäusen und mit bis zu  $70 \times 55 \times 45$  mm großen Lößkindeln, von 1 m ab in Säulenstruktur, bis in 2,5 m Tiefe von Luzernewurzeln mit 2,9—0,7 mm Durchmesser durchzogen.

Drei Stiche konnten mit dem Spaten herausgenommen werden, dann mußte gehackt werden.

*Punkt C.* 0—0,21 m rotbrauner Lehm Boden.

0,21—1,45 m bunter Keuperton mit grobscholligem Bruch, stark zerklüftet, in 8—12 cm Entfernung von senkrechten Rissen durchzogen, die bis in 1 m Tiefe von 2—7 mm auf 1 mm Breite abnehmen. In die Schollen sind bis zu 5 cm große Fleinstein- und Stubensandsteinbrocken fest eingekittet. Die Risse sind stark durchwurzelt. Bei 0,7 m kleine Kalkspatdrusen von 2 cm äußerem Durchmesser.

Von 1,45 m ab bunter Keupermergel, bei 1,5 m mit großen Eiseneinsprengungen, mit der Tiefe immer mehr an Festigkeit zunehmend, so daß von 2,20 m ab mit dem Meißel vorgebohrt werden mußte, um Proben entnehmen zu können.

Der Tonboden mußte durchaus gehackt werden.

Um den Tonboden auf seine Quellbarkeit zu prüfen, wurde ein Würfel von 6 cm Seitenlänge 24 Stunden lang so in Wasser gestellt, daß er von diesem gerade bedeckt wurde. Statt zu quellen, bekam er Sprünge, schuppte ab und zerfiel beim Herausnehmen vollständig.

*Punkt D.* 0—0,22 m kalkhaltiger, brauner Lehm Boden, stark durchwurzelt.

0,22—0,35 m kalkhaltiger, rötlichbrauner Lehm Boden, stark durchwurzelt.

Von 0,35 m ab stark kalkhaltiger, bräunlichgelber Löß mit Lößkindeln, einigen Schneckengehäusen und von 0,7 m ab mit verschiedenen bis zu 2,7 mm weiten Wurzelgängen, die mit weißem Kalk angefüllt sind. Der Löß zeigte keine Säulenstruktur, auch konnte in der Probegrube nur ein einziger Riß festgestellt werden. Dennoch war der Löß in den tieferen Schichten so ausgetrocknet, daß es schon bei 1,5 m Tiefe nicht mehr möglich war, Proben mit dem Tellerbohrer zu entnehmen. Die Ursache hierfür dürfte darin zu suchen sein, daß die Probegrube nur 6 m vom oberen Rand eines 15 m hohen Abhanges entfernt war. Im übrigen wurden in der Probegrube auch einige mit lockerem Oberboden angefüllte frühere Nagetiergänge, sogenannte Krotowinen, von etwa 5 cm Durchmesser angeschnitten. Im benachbarten Muschelkalksteinbruch steht der Löß bis in etwa 3,5 m Tiefe an.

Grundwasser wurde nirgends angetroffen.

b) *Der Kalkgehalt, die Kornzusammensetzung und die Benetzungswärme* sind aus Tafel 2 ersichtlich. Hiernach handelt es sich bei den Punkten A, B und D um mittelschwere Böden mit zum Teil bedeutendem Überwiegen der Korngröße 0,01—0,05 mm und mit meist hohem Kalkgehalt, während beim Punkt C auf eine mittelschwere Bodenkrume im Untergrund Tonboden folgt, der von etwa 1,5 m Tiefe ab in Tonmergel übergeht. Die Benetzungswärme ist im Untergrund des Punktes C sehr hoch und erreicht auch an den übrigen Punkten

Probe Nr.	Punkt	Ent- nahme- Tiefe  m	Ca CO <sub>3</sub>  Gew.-%	Korngruppen nach Kopecký				Benet- zungs- wärme nach Janert  cal/g
				I <0,01 mm Gew.-%	II 0,01 - 0,05 mm Gew.-%	III 0,05 - 0,1 mm Gew.-%	IV 0,1 - 2,0 mm Gew.-%	
2644	A	0,10	0,4	50,5	47,3	1,5	0,7	4,30
2645		0,30	2,2	46,5	51,2	1,7	0,6	4,12
2646		0,50		55,7	40,5	1,6	2,2	5,40
2647		0,70	1,1	50,2	45,8	3,6	0,4	4,96
2648		1,00	22,3	41,0	55,7	2,4	0,9	2,66
2649		1,50	23,9	37,0	60,6	1,6	0,7	3,78
2650		2,00	6,8	47,0	50,3	1,8	0,9	3,77
2651		2,50	10,2	52,3	42,4	3,3	2,0	4,06
2652	B	0,10	6,8	40,8	54,7	3,5	1,0	4,79
2653		0,30	23,8	44,8	51,2	2,8	1,2	2,73
2654		0,50	25,0	49,4	47,4	1,7	1,5	2,37
2655		0,70	26,8	43,0	53,9	1,8	1,3	2,11
2656		1,00	12,5	58,0	37,6	2,6	1,8	4,42
2657		1,50	14,7	47,6	44,8	5,1	2,5	3,71
2658		2,00	19,3	40,4	52,3	5,9	1,4	3,13
2659		2,50	22,7	44,9	47,5	4,3	3,3	3,10
2660	C	0,10		47,5	42,4	7,2	2,9	4,18
2661		0,30		65,9	24,6	5,3	4,2	7,26
2662		0,50		73,9	17,9	4,0	4,2	8,18
2663		0,70		68,4	16,3	4,4	10,9	7,27
2664		1,00		68,6	15,1	6,7	9,6	7,43
2665		1,50		65,2	10,7	9,0	15,1	6,84
2666		2,00	36,4	62,0	9,5	17,6	10,9	4,56
2667		2,50	22,7	64,2	10,6	11,4	13,8	4,79
2671	D	0,10	10,2	47,7	45,6	4,0	2,7	3,98
2672		0,16	11,4	47,2	46,2	3,7	2,9	3,92
2673		0,30	9,1	44,8	50,3	3,3	1,6	3,82
2674		0,50	24,3	44,7	47,9	4,5	2,9	2,52
2675		0,70	17,0	49,5	44,8	4,4	1,3	3,33
2676		1,00	19,3	47,9	44,5	5,4	2,2	3,35

Tafel 2

zum Teil beträchtliche Höhen. Rein nach der Kornzusammensetzung und der Benetzungswärme und ohne die natürlichen Lagerungsverhältnisse und die Ergebnisse der physikalischen Untersuchungen zu kennen, wäre man daher geneigt, die Böden sämtlich als dränungsbedürftig anzusprechen. Mit Beziehung auf die Benetzungswärme äußert sich *Janert* wie folgt: «Die Böden von Delitzsch-Schenkenberg (der in letzter Zeit viel genannten Abwasserverrieselungsanlage in



der Nähe von Leipzig) weisen zu rund 75% Benetzungswärmen von 0,6—1,2 cal/g auf. Höhere Benetzungswärmen als 2,0 cal/g sind dort gar nicht angetroffen worden. Die Benetzungswärmen der Proben von Mühlhausen liegen jedoch durchweg über 2,0 cal/g. Zu etwa 85% liegen sie sogar über 3,0 cal/g und steigen bis über 8,0 cal/g. Das sind außerordentlich schwere Böden, die bei der landwirtschaftlichen Abwasserverwertung mit größter Vorsicht behandelt werden müssen.»

c) Die Ergebnisse der Sickerversuche sind in der Tafel 3 zusammengestellt. Außerdem sind in der Tafel die Kulturart, die Zahl der seit dem letzten Pflügen verflossenen Monate, die Niederschlagshöhen seit dem ersten Sickerversuch sowie der Porenraum, der Wasser- und der Luftgehalt des Bodens in 0,10 m Tiefe zu Beginn der einzelnen Versuche angegeben. Die letzteren sind je nur an einer Einzelprobe bestimmt.

Für jeden Punkt liegen zwei Gruppen von je drei Sickerversuchen vor. Der mittlere Fehler der einzelnen Messungen beträgt

Tag	Punkt	Versuchsgruppe	Boden in 0,10 m Tiefe erdfeucht			Sickerzeit bei 14,5° C Wassertemperatur		Kulturart	Zahl der seit dem letzten Pflügen verstrichenen Monate	Niederschlag seit dem ersten Sickerversuch mm
			Porenraum Raum-%	Wassergehalt Raum-%	Luftgehalt Raum-%	Gruppenmittel Sekunden	Gesamtmittel Sekunden			
15.10. 1935	A	I-III	47,7	32,0	15,7	726	543	Rotklee	13	—
26.10. 1935		IV-VI	46,7	34,4	12,3	360				18,55
17.10. 1935	B	I-III	47,3	32,7	14,6	978	1493	Luzerne	34	—
25.10. 1935		IV-VI	48,4	35,8	12,6	2008				15,00
21.10. 1935	C	I-III	54,8	30,5	24,3	86	117	Rotklee	10	—
22.10. 1935		IV-VI	—	—	—	118				5,65
24.10. 1935	D	I-III	50,5	30,2	20,3	764	600	Baumwiese	—	5,65
22.10. 1935		IV-VI	—	—	—	435				5,65

Tafel 3

$41,3 \pm 4,8\%$ . Hierzu ist zu bemerken, daß bei allen Sickerversuchen auf dem Felde große Versuchsfehler unvermeidbar sind und in Kauf genommen werden müssen. Sie sind durch Röhren von Wurzeln und Würmern, durch Gänge und Nester von Ameisen, sowie durch andere tierische Gänge, unter Umständen auch durch feine Risse im Boden bedingt. Die Sickerversuche ergeben deshalb keine absoluten Werte,

wohl aber praktisch brauchbare Vergleichswerte für die Durchlässigkeit des Bodens. So bilden auch im vorliegenden Falle die Gesamtmittel der Sickerzeiten klare Verhältniszahlen der Bodendurchlässigkeit an den verschiedenen Punkten. Diese ordnen sich in der Reihenfolge C, A, D, B mit Sickerzeiten von 117, 543, 600 und 1493 Sekunden im Verhältnis 1 : 4,6 : 5,1 : 12,8.

Es fällt auf, daß der Boden beim Punkt C am durchlässigsten ist, obwohl er nach der Tafel 2 im Untergrund von den untersuchten Böden bei weitem den höchsten Anteil an abschlämmbaren Teilen  $<0,01$  mm und die größte Benetzungswärme hat. Der Grund hierfür ist neben dem großen Gehalt der Ackerkrume an nicht kapillaren Hohlräumen — das Lufthaltevermögen beträgt, wie wir sehen werden, 24% — in der unter a) beschriebenen starken Zerklüftung des Untergrunds zu suchen.

Bei den drei Ackerböden A—C hat die seit dem letzten Pflügen verstrichene Zeit deutlich vermindernd auf die Durchlässigkeit gewirkt.

Beim Punkt D war die Ausbreitung des versickerten Wassers an der dunkleren Färbung des Bodens an der Wand der Probegrube unterhalb der Sickerrohre deutlich zu erkennen. Sie wurde rund

### Ausbreitung des versickerten Wassers bei Punkt D

rund 41 Stunden nach beendeter Einsickerung

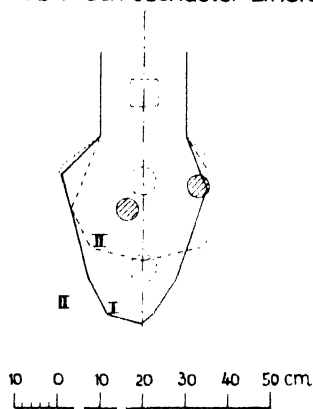


Abb. 7

41 Stunden nach beendeter Einsickerung an allen drei Sickerstellen eingemessen. Das Ergebnis ist in Abb. 7 aufgetragen. Hiernach ist die seitliche Sickerung unter den Verhältnissen der Versuchsanstellung beträchtlich, wird aber von der Sickerung in senkrechter Richtung bedeutend überwogen. Bei gleichmäßig verteiltem Regen kann die

seitliche Sickerung nicht so zur Geltung kommen. Bei der Sickerstelle II ist die geringere Tiefe der Versickerung wohl darauf zurückzuführen, daß der Boden unterhalb des Sickerrohrs durch zwei Krotowinen von etwa 5 cm Durchmesser gekreuzt wurde (siehe die schraffierten Kreise), in denen das Sickerwasser zum Teil seitlich abgeflossen sein dürfte.

d) *Porenraum, Wasser- und Luftgehalt.* Zur Berechnung des Porenraums standen je vier, zu der des Wassergehalts des Bodens nach dem Sickerversuch je drei Vergleichsproben zur Verfügung. Der mittlere Fehler der Einzelproben berechnet sich beim Porenraum zu  $2,5 \pm 0,1\%$ , beim Wassergehalt zu  $4,1 \pm 0,4\%$ . Die mittleren

Werte sind in Tafel 4 zusammengestellt und in Abb. 8 zeichnerisch aufgetragen. Der Wassergehalt des erdfeuchten Bodens wurde jeweils nur einmal bestimmt. Er ist in Abb. 8 gestrichelt eingetragen.

Der *Porenraum* der untersuchten Böden schwankt zwischen 45,0 und 55,3 Raumhundertsteln.

Punkt	Entnahme- tiefe m	Poren- raum Raum- %	Wassergehalt			Luftgehalt		
			erd- feucht Raum- %	24 Std. nach beende- ter Versickerung Raum- %	vgl. 45 Raum- %	erd- feucht Raum- %	24 Std. nach beende- ter Versickerung Raum- %	vgl. 45 Raum- %
A	0,10	47,1	32,0	37,2		15,1	9,9	
	0,30	46,1	31,1		32,8	15,0		13,3
	0,50	47,2	31,6		31,5	15,6		15,7
	0,70	50,6	26,6		29,1	24,0		21,5
B	0,10	48,7	32,7	33,4		16,0	15,3	
	0,30	50,5	29,5		28,4	21,0		22,1
	0,50	49,5	27,7		29,1	21,8		20,4
	0,70	46,3	29,1		29,6	17,2		16,7
C	0,10	55,3	30,5	31,3		24,8	24,0	
	0,30	48,0	35,9		37,5	12,1		10,5
	0,50	47,8	36,3		35,6	11,5		12,2
	0,70	45,0	34,6		34,2	10,4		10,8
D	0,10	49,2	30,2	32,8		19,0	16,4	
	0,30	50,5	16,2		25,6	34,3		24,9
	0,50	48,8	12,3		15,8	36,5		33,0
	0,70	48,0	16,8		16,8	32,0		31,2

Tafel 4

Der *Wassergehalt* des erdfeuchten Bodens liegt zwischen 12,3 und 36,3 Raumhundertsteln. Er hat infolge der Sickerversuche nur in der Bodenkrume des Punktes A und in 0,30 m Tiefe des Punktes D um Beträge zugenommen, die außerhalb der Grenzen des Versuchsfehlers liegen.

Das *Luftthaltevermögen der Bodenkrume* ist beim Punkt C mit 24,0 Raumhundertsteln am größten, beim Punkt A mit 9,9 Raumhundertsteln am kleinsten, während es bei den Punkten B und D mit 15,3 und 16,4 Raumhundertsteln annähernd gleich ist.

Im *Untergrund* ist der größte *Luftgehalt* beim Punkt D vorhanden. Er beträgt im erdfeuchten Boden 32,0—36,5 Raumhundertstel und nach dem Sickerversuch 24,9—33,0 Raumhundertstel. Wenn dieser hohe Luftgehalt zum Teil auch auf die austrocknende Wirkung des nahen Berghangs zurückzuführen sein dürfte, so ist doch anzunehmen, daß in der Umgebung des Punktes D die Beregnung ohne Dränung möglich sein wird. Bei den Punkten A und B wird voraussichtlich mit

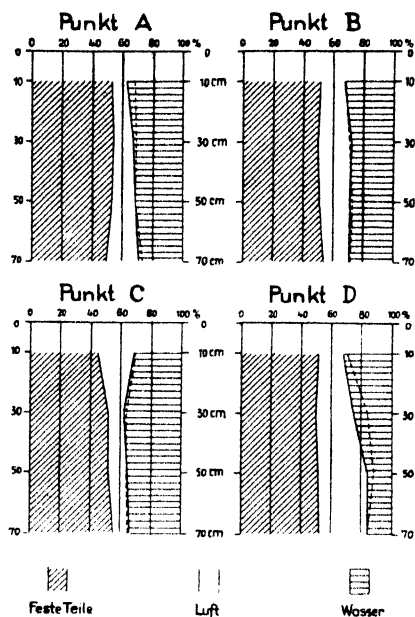


Abb. 8

der Zeit für Ackerkulturen Dränung erforderlich werden.

Der kleinste Luftgehalt des Untergrunds ist beim *Punkt C* vorhanden. Es ist jedoch zu beachten, daß in diesem Ergebnis die starke Zerklüftung der Schichten nicht zum Ausdruck kommt, weil die Bodenproben, wenn sie nicht zerfallen sollten, zwischen den unter a) beschriebenen Rissen entnommen werden mußten. Das Ergebnis der Sickerversuche, nach dem der Boden beim *Punkt C* am durchlässigsten ist, steht deshalb mit dem geringen Luftgehalt der Untergrundproben nicht im Widerspruch. Nach dem Ergebnis des Quellungsversuchs ist nicht anzunehmen, daß die Sprünge und Risse des Untergrunds sich bei kräftiger Durchnässung infolge Quellung des Bodens schließen, dagegen ist

ihre allmähliche Ausfüllung mit abgeschuppten Bodenteilchen nicht ausgeschlossen. Von der *Verrieselung* des Abwassers beim *Punkt C* ist daher abzuraten. Wohl aber erscheint eine vorsichtige *Beregnung*, zunächst wenigstens, ohne Dränung als möglich.

Von der *Verrieselung* des Abwassers ist auch bei den *Punkten A, B und D* zu warnen. Die derzeitigen, überwiegend günstigen Luftverhältnisse des Untergrunds bei diesen Punkten sind in erster Linie auf die durch den Kalkgehalt des Bodens (Tafel 2) bedingte Krümelstruktur und auf die dem Löß eigentümliche Röhrenstruktur zurückzuführen. Dem Bestand der Krümelstruktur des Bodens wie auch der Röhren des Löß, die von Kalkkrusten umhüllt sind, droht aber seitens der im städtischen Abwasser enthaltenen Chloride Gefahr, denn diese wirken infolge Basenaustausches entkalkend auf den Boden. Eine übermäßige Zufuhr von Abwasser, wie sie bei der *Verrieselung* unvermeidbar ist, sollte deshalb nicht stattfinden, wenn man nicht die ganze Lößfläche von vornherein dränen will.

## 6. Zusammenfassung.

Die Luft- und Durchlässigkeitsverhältnisse des Bodens im untersuchten Gebiete sind für die *Beregnung* mit städtischem Abwasser nicht ungünstig. In der Nähe der *Punkte A—C* wird nach Einführung der *Beregnung* voraussichtlich mit der Zeit für Ackerkulturen Dränung erforderlich werden. Beim *Punkt D* wird bei der *Beregnung* wohl ohne Dränung auszukommen sein. Die *Verrieselung* des Abwassers würde an allen untersuchten Stellen sofortige Dränung zur Voraus-

setzung haben. Der Vergleich der Benetzungswärme der untersuchten Böden mit denen der Böden bei Leipzig mahnt zur Vorsicht. Es empfiehlt sich daher, zunächst unter fachmännischer Leitung sorgfältige Berechnungsversuche durchzuführen, bevor große Mittel aufgewendet werden. Zur Durchführung dieser Versuche erscheint die Umgebung des Punktes D sowohl im Hinblick auf die Luftverhältnisse des Bodens, als auch wegen der geringen Entfernung von der Kläranlage besonders geeignet.

Alles in allem hat die physikalische Untersuchung der für die Beregnung mit Abwasser der Stadt Stuttgart in Aussicht genommenen Böden wertvolle Aufschlüsse über den Grad ihrer Bewässerungsbedürftigkeit gegeben, die es *angezeigt* erscheinen lassen, *in Zukunft bei der Planung von Feldberegnungsanlagen der physikalischen Bodenuntersuchung größeres Gewicht beizulegen*, als dies zur Zeit geschieht.

## 7. Schrifttum.

1. *Burger*: Physikalische Eigenschaften der Wald- und Freilandböden. Mitteilungen der Schweizerischen Zentralanstalt für das forstliche Versuchswesen. XIII. Band. 1. Heft. Zürich 1922.
2. *Fausser*: Vorschlag zur Erzielung allgemein brauchbarer Vergleichswerte für die Wasserkapazität des Bodens. Der Kulturtechniker 1912, S. 66.
3. *Kleinschmidt*: Die Häufigkeit dürre- und nasser Monate in Württemberg und Hohenzollern. Württ. Jahrbücher für Statistik und Landeskunde 1929, S. 186.
4. *Meyer*: Über einige Zusammenhänge zwischen Klima und Boden in Europa. Inaug. Dissert. E. T. H. Zürich 1926.
5. Mitteilungen des Württ. Statistischen Landesamts, Jahrgang 1925.
6. *Schildknecht*: Die Bestimmung der Bewässerungsbedürftigkeit in der Landwirtschaft. Der Kulturtechniker 1932, S. 133.
7. *Schildknecht*: Die Bewässerung im Wallis, im Lichte moderner Bewässerungstechnik. Sonderdruck aus Heft 3, Jahrgang 1933 der Schweizerischen Landwirtschaftlichen Monatshefte.
8. *Zunker*: Die Anwendung der Feldberegnung. Der Kulturtechniker 1925, S. 243.

## 23. Die Abwasserverregnung in Deutschland

Von

Prof. Dr. Ing. *Ferdinand Zunker*, Breslau, Deutschland.

Seit der Tagung der 6. Kommission in Groningen im Jahre 1932, auf der eingehend über die Feldberegnung berichtet wurde,<sup>1)</sup> hat in Deutschland die Abwasserverregnung weitere große Fortschritte gemacht. Während bei den damaligen Verhandlungen noch die Bemerkung fallen konnte, daß — in der Umgebung von Leipzig — keiner daran denke, Abwasser zu verregnen, bestehen jetzt allein in der Nähe von Leipzig schon etwa 40 Abwasserverregnungsanlagen. Ein Erlaß des Reichsministers für Ernährung und Landwirtschaft vom 5. Februar 1935 schreibt vor, daß die Errichtung oder wesentliche Änderung einer städtischen Kläranlage und das Einleiten von Abwasser in Gewässer nur dann zugelassen werden soll, wenn die landwirtschaftliche Verwertung des Abwassers nicht angebracht ist. Dadurch sind die Gemeinden gezwungen worden, der landwirtschaftlichen Verwertung des Abwassers ihre besondere Aufmerksamkeit zu schenken, und in allen Teilen Deutschlands sind Abwasserverregnungsanlagen ausgeführt worden oder befinden sich in Vorbereitung. Durch den Erlaß des Reichswirtschaftsministers vom 28. Mai 1936 hat die landwirtschaftliche Verwertung der gewerblichen Abwasser eine weitere Förderung erfahren. Die Gründe für diesen schnellen Fortschritt sind:

1. die Erkenntnis, daß die Bodenfruchtbarkeit hauptsächlich vom Humusgehalt des Bodens abhängt und daß die organischen Abwasser eine sehr wertvolle und reiche Humusquelle darstellen;

2. die großen Ertragssteigerungen, die bei den wissenschaftlichen Versuchen mit der Abwasserverregnung festgestellt wurden;

3. die günstigen praktischen Erfahrungen mit der Abwasserverregnung gegenüber anderen Verwertungsverfahren, was zum großen Teil auch auf die großartige technische Entwicklung der Beregnungsgeräte und -anlagen zurückzuführen ist;

4. das bei uns im Vordergrund stehende ernährungspolitische Ziel der Nahrungsfreiheit.

Aus der deutschen landwirtschaftlichen Statistik der letzten sechs Jahrzehnte konnte Verfasser nachweisen,<sup>2)</sup> daß die *Schwankungen der Hektarerträge in engster Beziehung zu den Schwankungen der Zufuhr von organischem Dünger* auf Feld und Wiese stehen. Hin-

<sup>1)</sup> Verhandlungen der 6. Kommission der Internationalen Bodenkundlichen Gesellschaft in Groningen, Band B, S. 270, 1933.

<sup>2)</sup> *Zunker, F.*: Landwirtschaftliche Verwertung der Abwässer. Gesundheits-Ingenieur 59, 373 (1936).

gegen konnte keine merkbare Parallelität der Ertragskurven mit dem Verbrauch an Kunstdünger festgestellt werden. Auch aus der landwirtschaftlichen Praxis mehrten sich die Stimmen, die dem Kunstdünger eine nennenswerte Wirkung nur in den Fällen zubilligen, wo der Boden einen ausreichenden Gehalt an mildem Humus hat. In den anderen Fällen vermag der Kunstdünger die Ernten nur vorübergehend zu steigern, indem er den geringen Vorrat des Bodens an Nebennährstoffen und Reizmitteln mobil macht, aber es geschieht auf Kosten der alten Kraft des Bodens. Die Folge davon ist ein Rückgang oder mindestens ein Stillstand der Ernten trotz erhöhter Kunstdüngergaben. Der Kunstdünger hat also nur die Bedeutung eines Ergänzungsstoffes, nicht aber eines Ersatzstoffes für den organischen Dünger. Mit der Steigerung des Kunstdüngerverbrauchs ohne entsprechend gesteigerte Humuszufuhr droht deshalb dem Kulturboden die Erschöpfung. *Daraus ergibt sich die große Bedeutung der landwirtschaftlichen Abwasserverwertung für die Erhaltung und Steigerung der Bodenfruchtbarkeit*, denn das häusliche und organische gewerbliche Abwasser ist in der Hauptsache zu Humus gewandelte Pflanzenmasse. 67% der deutschen Bevölkerung, das sind rund 45 Millionen Einwohner, leben in Gemeinden über 2000 Einwohnern, in die jahraus, jahrein ein entsprechend großer Teil der Bodenerzeugnisse abfließt, ohne bisher dem Boden in nennenswerter Menge wieder zurückgegeben zu werden. Zur Zeit wird das Abwasser von nur etwa 7 Millionen Einwohnern sehr unvollkommen, größtenteils auf überlasteten Rieselfeldern, landwirtschaftlich verwertet. Nach dem vollen Ausbau der Kanalisationen, der nur eine Frage der Zeit ist, würde die Abwassermenge dieser städtischen Bevölkerung bei einem durchschnittlichen Abwasseranfall von 125 l/Kopf und Tag 2 Milliarden Kubikmeter im Jahre betragen. Da im vorgeklärten städtischen Abwasser je Kopf und Tag etwa 10,4 g Gesamtstickstoff und im Klärschlamm etwa 10% dieser Menge anfallen, sind in 2 Milliarden Kubikmeter Abwasser rund 187000 t Stickstoff enthalten. Das ist die gleiche jährliche Stickstoffmenge, die in Deutschland in den Jahren 1913 und 1914 durch vermehrte Stallmisterzeugung mehr auf den Acker kam als drei Jahrzehnte vorher und auf die zusammen mit den anderen Wachstumsfaktoren des Stallmistes die Zunahme der Hektarerträge um rund 100% hauptsächlich zurückzuführen ist.

Durch die *Abwasserverregnungsversuche*, die vom Verfasser von 1926 bis 1934 in Scheibitz bei Breslau durchgeführt worden sind, ist auch der praktische Nachweis für den großen Wert des städtischen Abwassers erbracht worden. Die Wirkung des Abwassers beruht auf seinem reichlichen Gehalt an löslichen Kern-, Nebennährstoffen und Wachstumsreizmitteln, ferner auf dem Gehalt an Humuskolloiden, die eine dauernd fließende Quelle für diese Nährstoffe und die bodennahe Kohlensäure bilden, und schließlich auf seinem Wasserwert. Das Wasser dient als Baustoff für die Pflanzen, als Transportmittel für die Nährstoffe und als unentbehrlicher Katalysator für den weiteren Abbau der organischen Massen durch Ionen und Bakterien. Der Ausnutzungsgrad des Abwasserstickstoffs durch Wiesengras betrug im Durchschnitt der Versuche 90% und stieg in trockenen Jahren

bei kleinen Abwasserregenhöhen auf über 100%, wobei offenbar die aus früheren Jahren stammenden Stickstoffreserven des Bodens mitausgenutzt wurden. In Abb. 1 sind auf der einen Achse die Stickstoffzufuhren durch das Abwasser und auf der anderen der Stickstoffentzug durch die Grasernten aufgetragen. Mit 6,25 multipliziert erhält man aus dem Stickstoffgehalt den Rohproteingehalt des Grases.

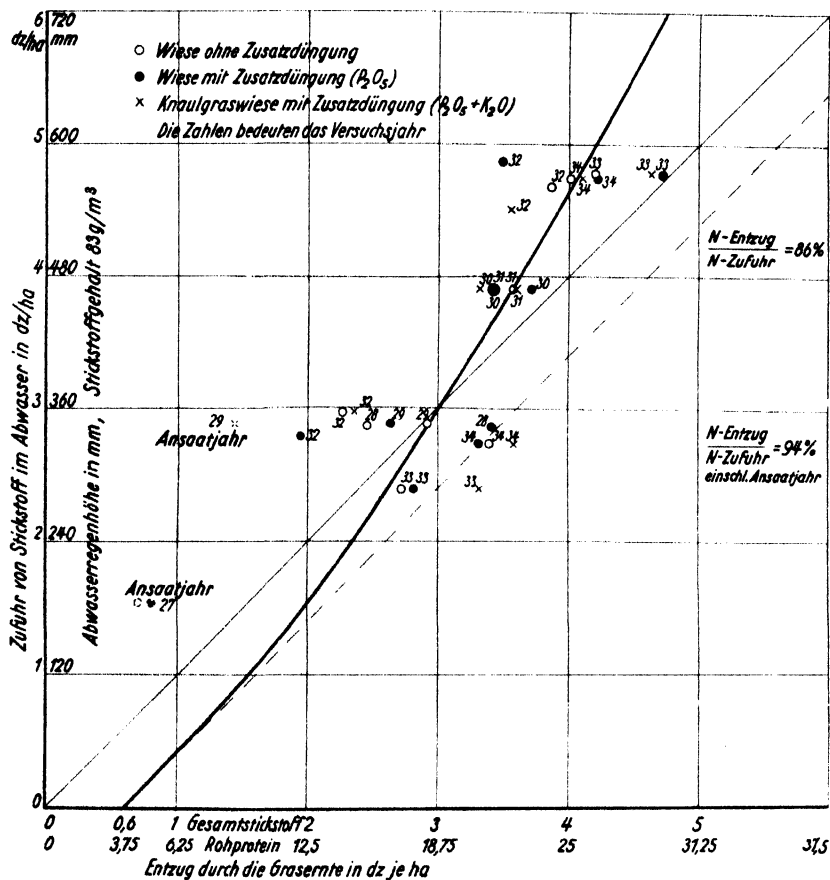


Abb. 1

Der Schnittpunkt der gemittelten Kurve mit der waagerechten Achse gibt den Stickstoffgehalt des Grases auf den unberegneten, mit Kunstdünger gut gedüngten Parzellen an. Der höchste Rohproteingehalt wurde bei dem am 24. Oktober 1934 genommenen sechsten Grasschnitt mit 27,61% der Trockenmasse festgestellt.

Abb. 2 zeigt den Heuertrag bei verschiedener Abwasserstickstoffzufuhr bzw. Abwasserregenhöhe. Mit einer Abwasserregenhöhe von 800 mm würde man hiernach rund 175 dz/ha sehr proteinreiches Heu ernten. Der Proteingehalt dieser Heumenge beträgt das Acht-



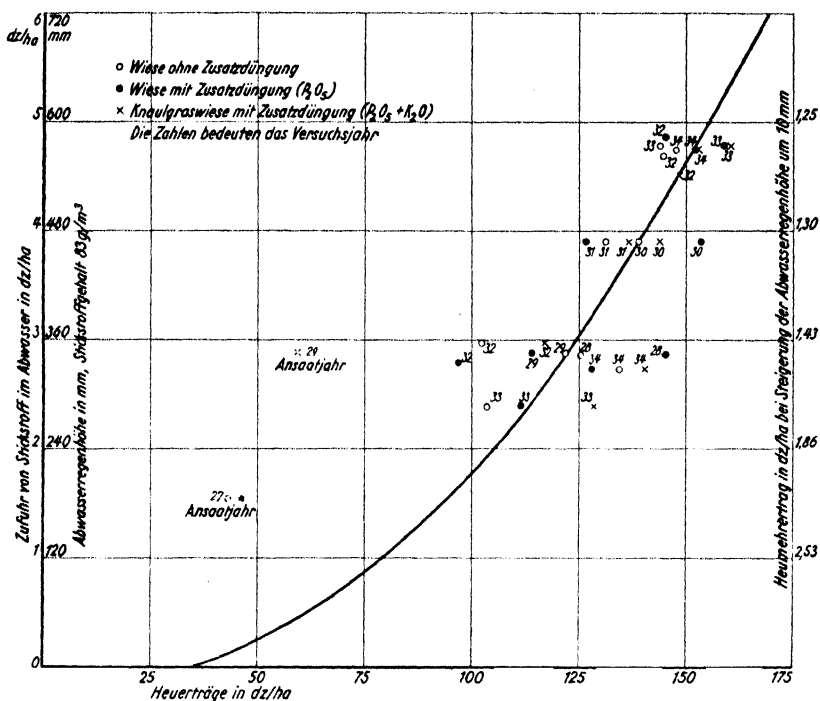


Abb. 2

undeinhalbfache gegenüber dem Heuertrag unberegneten, mit Kunstdünger gedüngter Grasflächen. Die Beregnung des Graslandes mit Abwasser wird deshalb mit Recht als eine *Eiweißfabrik* bezeichnet.

Als wichtigste Gräser kommen Knäulgras, sodann Wiesenrispengras, Hoher Schwingel, Fioringras in Betracht. Eine Zusatzdüngung mit Kali ist nicht nötig, da das fehlende Kali durch Natron aus dem Kochsalzgehalt des Abwassers ersetzt wird.

Auch die Feldfutterpflanzen sind für die Beregnung mit Abwasser sehr geeignet, ausgenommen Luzerne, die mit Stickstoff und Salzen stark angereicherte gewerbliche Abwasser nicht verträgt und auch schon auf städtische Abwasser nur verhältnismäßig wenig anspricht.

Bei Rüben, Gemüse und Frühkartoffeln war der wirtschaftliche Erzeugungswert des Abwassers noch erheblich größer als auf Grasland. Insbesondere waren Futterrüben für eine Beregnung mit Abwasser überaus dankbar. Die Futterrübe Cimbals Silesia brachte im Jahre 1934 ohne Zusatzdüngung bei 490 mm Abwasserregenhöhe einen Ertrag von 1417 dz/Rüben und 472 dz/Blätter je Hektar. Der Ausnutzungsgrad des Abwasserstickstoffs war dabei 94%.

Jedoch ist die Beregnung von Grasland besonders vorteilhaft, weil dadurch eine nahezu volle Ausnutzung der Nährstoffe des Abwassers gewährleistet ist und, abgesehen von strengen Frostzeiten, das Land jederzeit beregnet und betreten werden kann.

Das in Schebitz verregnete Abwasser enthielt im Mittel je Liter 934 mg Trockenmasse, 195 mg organische Masse, 83 mg Gesamt-Stickstoff, 75 mg Ammoniak-Stickstoff, 24 mg  $P_2O_5$ , 47 mg  $K_2O$ , 192 mg  $Na_2O$ , 130 mg  $CaO$ .

Der Boden des Versuchsfeldes war ein ziemlich dicht gelagerter, feinsandiger, humusarmer Lehm. Sein Stickstoffgehalt in der Krume hat vom Jahre 1927 bis 1934 auf den berechneten Parzellen von 0,038 auf 0,050%, in der Trockenmasse, also um 34% des anfänglichen Gehalts, auf den unberechneten Parzellen von 0,036 auf 0,055%, also um 53% zugenommen. Die unberechneten Parzellen hatten hohe Kunstdüngergaben erhalten, die nur teilweise ausgenutzt wurden, während der Abwasserstickstoff auf den berechneten Parzellen trotz sehr hoher Gaben fast voll zur Ausnutzung kam. Der mittlere jährliche Niederschlag betrug rund 600 mm, die mittlere jährliche Verdunstungshöhe der berechneten Flächen kann mit rund 850 mm angenommen werden. Der Grundwasserstand lag meistens mehr als 1 m unter Oberfläche.

Der Geschmack der mit Abwasser berechneten Früchte war feiner und zarter, die Haltbarkeit besser als bei den Früchten, die nur Kunstdünger erhalten hatten. Irgendein gesundheitlicher Nachteil hat sich auch auf den berechneten Weiden nicht gezeigt, abgesehen von dem Umstand, daß man das Weidevieh im Frühjahr nur vorsichtig auf die Weide lassen darf und mit Raubfutter beifüttern muß, um einer Eiweißvergiftung besonders beim Jungvieh vorzubeugen. Ein Problem für sich bildet das Trocknen der in 5 bis 6 Schnitten anfallenden sehr proteinreichen Grasschnitte. Auch Geruchsbelästigungen sind bei der Abwasserverregnung im Gegensatz zu den Verhältnissen auf den Rieselfeldern kaum wahrnehmbar, zumal beim Verregnen von frischem Abwasser.

Die Erfahrungen auf Rieselfeldern, daß die Pflanzen im Sommer ständig Wasser brauchen, gelten nicht für die Abwasserverregnung. Denn auf Rieselfeldern haben die hohen Abwassergaben bei starker Verdunstung im Hochsommer leicht eine übermäßige Nährsalzanreicherung im Boden zur Folge, die zu einem Verbrennen der Blätter führt, was beim Verregnen städtischen Abwassers nicht eintritt. Nur ist im Jugendzustand der Pflanzen, insbesondere bei den luftbedürftigen Rüben, Vorsicht auch mit der Beregnung geboten, damit die Sauerstoffatmung der Wurzeln nicht durch eine Übernässe des Bodens beeinträchtigt wird. Sobald die Pflanzen jedoch kräftig Blätter gebildet haben, schaffen sie sich durch ihre starke Wasserverdunstung, der ein ebenso starkes Nachsaugen von Luft in den Boden entspricht, den nötigen Gehalt der Bodenluft an Sauerstoff selber und können dann große Abwassermengen bis zu etwa 40 mm in jeder Woche selbst auf bindigen Böden vertragen. Die einzelnen Regengaben sollen je nach Pflanzenart, Wachstumszustand, Witterung und Umlaufgeschwindigkeit 10 bis 40 mm betragen. Reinwasserzufuhr ist im allgemeinen nicht nötig.

Die Wirkung von biologisch gereinigtem Abwasser hat sich naturgemäß als wesentlich geringer erwiesen wie die von ungereinigtem Abwasser. Bei gewerblichen organischen Abwassern ist manchmal der Kaliegehalt übermäßig hoch, so daß kaum mehr als 100 mm im

Jahre gegeben werden dürfen, wenn man den Boden nicht versalzen will. So würde man mit 100 mm Hefeabwasser, wie es beispielsweise in Konstanz in Oberschlesien verregnet wird, fast 3 Tonnen Kali und Natron auf den Hektar bringen.

Da nach den Abb. 1 und 2 die ersten Kubikmeter Abwasser wirksamer als die nächstfolgenden sind, wird die *größtmögliche Ernte-steigerung durch eine möglichst gleichmäßige und weiträumige Verteilung des Abwassers* erreicht. Im Gegensatz hierzu werden auf Rieselfelder möglichst große Abwassermengen aufgebracht, dienen sie doch in erster Linie der Abwasserreinigung und nicht der Abwasserverwertung. Für sie ist auch nur ein gut durchlässiger Boden mit guter Entwässerungsmöglichkeit geeignet. Das hat zwar wieder schwerwiegende Nachteile für die Lebensdauer der Rieselfelder zur Folge. Denn bei der verhältnismäßig kleinen spezifischen Oberfläche sandiger Böden ist ihr Adsorptionsvermögen für Nährsalze und Humuskolloide, das auf dem Oberflächendruck der Bodenteilchen beruht, bald erschöpft. Viele Rieselböden sind deshalb heute, nach wenigen Jahrzehnten der Überrieselung und Überstauung, bis zur Dräntiefe mit unverwerteten Nährstoffen und unabgebauten adsorbierten Humuskolloiden übersättigt, und das abfließende Dränwasser ist kaum weniger schmutzig und nährstoffreich als das oben auf die Flächen aufgegebene Abwasser. Auch die weiträumige Berieselung hat Schwächen gezeigt. Weil die Rieselhöhe stets um das Mehrfache größer ist als eine Regengabe, muß der Boden auch bei der weiträumigen Berieselung, zum mindesten der mit Pflanzen bestandene, genügend durchlässig sein, weil sonst die Pflanzen durch Übernässe leiden würden. Außerdem besteht bei der Rieselung die Gefahr der Abschwemmung der Krume und des ungleichen Wuchses der Pflanzen infolge ungleichmäßiger Abwasserverteilung. Auch führt die Berieselung ohne besondere Herrichtung des Geländes erfahrungsgemäß meistens zu einem besonders hohen Wasserverbrauch.

Hingegen ist für die Beregnung jede Bodenart und Geländegestaltung geeignet. Bei der verhältnismäßig geringen Abwasserregenhöhe, die jährlich gegeben wird, ist eine adsorptive Sättigung des Bodens mit Nährstoffen und Humuskolloiden selbst im Laufe langer Zeiträume nicht zu befürchten. Auch ist die Abwasserverregnung bei jeder Höhe des natürlichen Niederschlags vorteilhaft. Beregnetes Gras hat außerdem ein wesentlich besseres Aussehen als berieseltes. Um möglichst geringe Anlagekosten und einen möglichst großen Reingewinn zu erhalten, wird man mit der Abwasserhöhe bis an die *obere wirtschaftliche Grenze* gehen, bei welcher die Betriebskosten des zuletzt gegebenen Kubikmeters Abwasser gerade noch durch den Mehrertrag, den dieser Kubikmeter Abwasser bringt, gedeckt werden. Diese Grenze liegt in Deutschland für Wiesen etwa bei 800 mm, für Weiden bei 450 mm, für Futterrüben bei 500 mm, für Zuckerrüben bei 300 mm, für Kartoffeln bei 200 mm, für Getreide bei 100 mm Abwasserhöhe. Nachdem die Anlagekosten teilweise getilgt sind, wird man, um die Bodenfruchtbarkeit eines möglichst großen Gebiets zu erhöhen, die beregneten Flächen vergrößern, die Abwasserhöhe also vermindern, bis die *untere wirtschaftliche Grenze*, bei welcher der Mehr-

ertrag durch die Abwasserverregnung gerade die Betriebskosten und die Verzinsung und Tilgung der Anlagekosten deckt, nahezu erreicht ist.

Für die *Zuleitung des Abwassers* sind geschlossene Druckrohre den offenen Gräben vorzuziehen, weil die letzteren als schwer zu reinigende Absetzbecken wirken, zu Geruchsbelästigungen Anlaß geben und bei ihrer großen Oberfläche zu erheblichen Stickstoffverlusten führen. Damit die auf die Flächeneinheit entfallende Druckrohrlänge möglichst klein wird, sind für die Beregnung nahegelegene und vor allem auch zusammenhängende Flächen zu wählen. Wegen geringerer Pumpkosten ist ein talabwärts gelegenes Beregnungsgebiet meistens günstiger als ein talaufwärts gelegenes. Dem ersteren wird das Abwasser häufig mit natürlichem Gefälle zugeleitet werden können, und das Sammelbecken mit Hochdruckpumpwerk kann am Ende dieses Hauptzuleiters angeordnet werden. Bei billigen Strompreisen können auch verhältnismäßig hoch zur Ortschaft gelegene Flächen noch mit wirtschaftlichem Erfolg beregnet werden. Um die Betriebsstoffkosten möglichst gering zu halten, sind die Rohrleitungen genügend weit und der normale Düsendruck zwischen 3 bis 5 Atm zu wählen. Im Winter kann mit halbem Druck unter Benutzung von Schaltleitungen oder Nebenflügeln und nur einmaligem Umlauf beregnet werden. In Frostzeiten kann man das Abwasser auf Stauflächen oder nach dem Durchfluß durch das Sammelbecken, also einem einfachen Absetzverfahren, in den Vorfluter leiten. Für Betriebsruhetage in der Wachstumszeit sind ferner einige Rieselflächen zur Aufnahme des Abwassers vorzusehen. Die beregneten Flächen brauchen sich nicht im Eigenbesitz der Gemeinden oder gewerblichen Betriebe zu befinden, sondern können genossenschaftlich zusammengefaßt werden. Die größte Schwierigkeit für die Abwasserverwertung wird im allgemeinen ein stark zersplitterter Grundbesitz machen, weil die Abwasserverregnung eine Betriebsumstellung mit einheitlichem Bestellsplan erfordert. Zweckmäßig wird man dann einen größeren Teil der Flächen als Grasland nutzen.

Der Bodenentwässerung ist von vornherein allergrößte Aufmerksamkeit zu schenken. Sie ist um so leichter durchzuführen, je kleiner und zusammenhängender das Beregnungsgebiet ist. Nach dem Bilanzgesetz des Wasserhaushalts ist die Aufspeicherung gleich dem Niederschlag abzüglich Abfluß und Verdunstung, und eine Erhöhung der Wasserzufuhr beeinflußt somit auch den Grundwasserstand.

Was die *Vorbehandlung des Abwassers* anbelangt, so ist in den Fällen, wo wegen sehr kurzer Zuleitung noch größere Papier- und Kotballen bis an das Ausgleichs- und Sammelbecken gelangen, die Vorschaltung eines kleinen Emscherbrunnens mit kurzer Aufenthaltsdauer des Abwassers zweckmäßig. Bei längerer Zuleitung zum Sammelbecken genügt die Vorschaltung eines Grobrechens von etwa 12 mm lichter Stabweite, und beim Mischsystem ist außerdem ein kleiner Sandfang erforderlich. Ein Ausgleichs- und Sammelbecken ist bei der Abwasserverregnung meistens nicht zu entbehren, weil die Weitstrahlregner zweckmäßig nur zu bestimmten Tages- oder Nachtstunden möglichst außerhalb der Sperrstunden arbeiten. Im Sammelbecken entstehende Schlammablagerungen sollen bei jeder Beregnung mit

verregnet werden, was durch eine geeignete Sohle des Beckens und Spülung leicht erreicht werden kann. Erfolgt die Entnahme des Abwassers an verschiedenen Stellen längs einer Druckrohrleitung in einer Menge, welche die kleinste Wasserführung der Rohrleitung nicht unterschreitet, so ist an diesen Entnahmestellen ein Sammelbecken naturgemäß nicht nötig.

Um Geruchsbelästigungen vorzubeugen, soll das Abwasser möglichst frisch verregnet werden. Angefaultes Abwasser wird zwar durch die Pflanzen etwas leichter aufgenommen, ähnlich wie halbverrotteter Stallmist ertragssteigernd wirkt als frischer. Über die *Ursache der Zersetzung der organischen Masse* sind seit anderthalb Jahren Versuche des Verfassers im Gange. Hiernach werden die Eiweißmoleküle auch ohne Bakterientätigkeit allein durch H- und OH-Ionen abgebaut. Sowohl stärkere Konzentration der Säure bzw. Base, als vor allem auch höhere Temperatur beschleunigen die Zersetzung. OH-Ionen bewirken eine Aufspaltung des Eiweißes in Bruchstücke, die von den Pflanzen leichter aufgenommen werden als die Spaltungsprodukte, die von H-Ionen ausgehen. Andererseits ist die Geschwindigkeit des Zerfalls und sind die Verluste an gasförmigen Stickstoffverbindungen bei der Zersetzung durch OH-Ionen größer als bei jener durch H-Ionen. Die Humuszersetzung in Kalkböden und andererseits die in Mooren bietet für beide Ionenwirkungen praktische Beispiele. Da diese Ionenwirkung nur in wässrigen Lösungen vor sich geht, zersetzen sich getrocknete und gefrorene organische Massen nicht. Die Bakterien sind eine häufige Begleiterscheinung dieser Ionenwirkung und unterstützen sie vermutlich durch Absonderung gleicher Ionenart. In gewissen Fällen hemmen sie dieselbe aber auch, indem sie Eiweiß in ihrem eigenen Körper festlegen. Die Vorbehandlung des Abwassers sollte nun darauf hinausgehen, vom Herbst bis zum Ende des Winters den Stickstoffgehalt des Abwassers möglichst zu erhalten. Es kann dies dadurch geschehen, daß man das Abwasser während dieser Zeit in schwach saurem Zustande aufs Land bringt. Hingegen wäre dem Abwasser im Frühjahr und Sommer durch Beigabe von Kalk eine schwach alkalische Reaktion zu geben. Der Aziditätsbestimmung und -beeinflussung des Abwassers und Bodens ist jedenfalls bei der Abwasserverregnung größte Beachtung zu schenken.

Es würde hier zu weit führen, auch über die *Entwicklung der Beregnungsgeräte* eingehende Ausführungen zu machen. Es sei nur erwähnt, daß neue Schnellkupplungen und Weitstrahlregner entstanden sind, die Betriebssicherheit und Lebensdauer der Anlagen wesentlich zugenommen hat, neue Rohrmaterialien wie die Asbestzementrohre sich eingebürgert und die Unterhaltungs- und Betriebskosten abgenommen haben. Für die Bedienung einer Beregnungsanlage nebst Pumpwerk genügt im allgemeinen ein Mann, und die Betriebskosten sind bei den heute bevorzugt angewendeten flügelbeweglichen Anlagen auf 3 bis 4 Pfennig je Kubikmeter Abwasser gesunken. Diese Anlagen bestehen aus unterirdisch verlegten, ortsfesten Feldeleitungen, an deren Hydranten die leicht tragbaren, durch Schnellkupplung verbundenen Rohre der Regnerflügel mit Weitstrahlregnern angeschlossen sind.

## 24. Berechnungsanlage für Beerenkulturen

Von

*E. Tanner*, Kantons-Kulturingenieur, Schaffhausen, Schweiz,  
unter Mitarbeit von Direktor *Meyer*, Konservenfabrik Hallau,  
Schweiz.

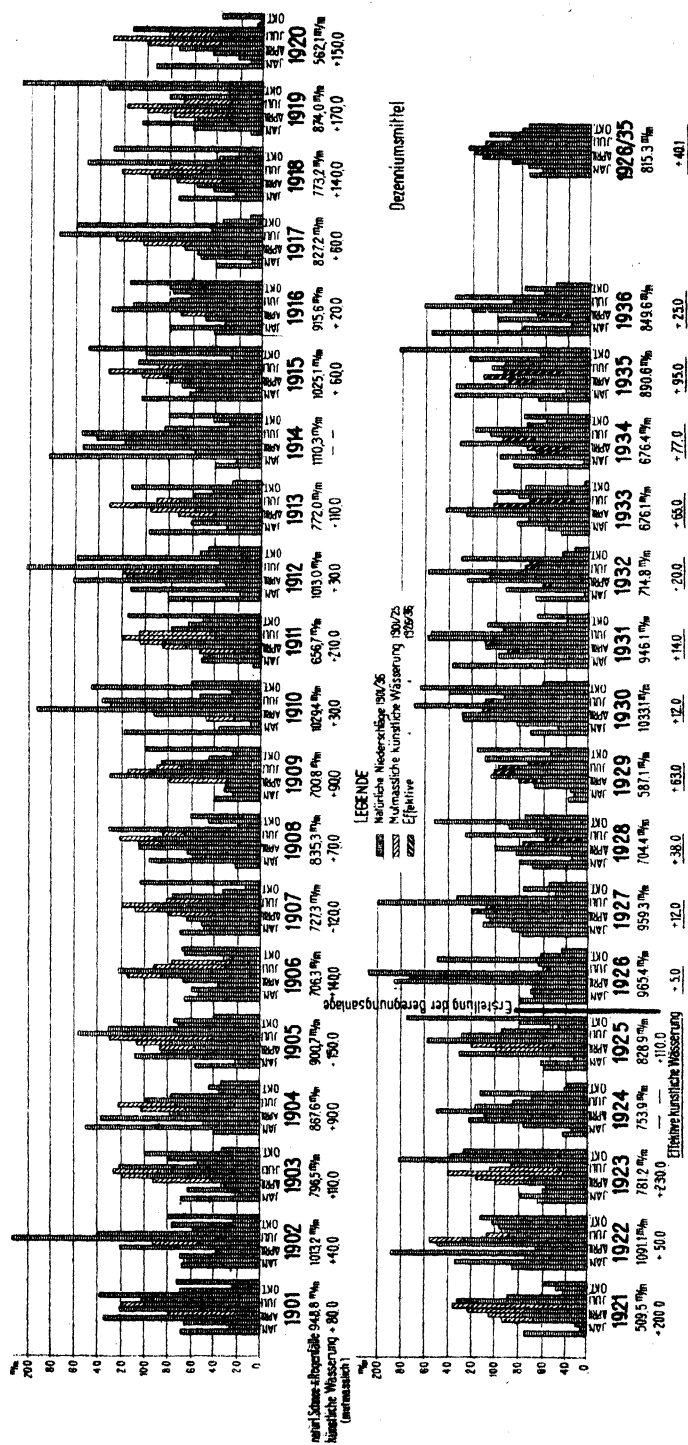
### *A. Niederschlagsverhältnisse.*

*a) Schweiz.* Die Schweiz liegt in der Übergangszone vom ozeanischen Klima Westeuropas zum kontinentalen Osteuropas bzw. Asiens. Sie steht als solche bezüglich ihrer Niederschläge sowohl mengenmäßig wie nach der zeitlichen Verteilung betrachtet, relativ günstig da. Indessen weist die geographische Verteilung der Niederschläge innerhalb der Schweiz große Unterschiede auf. Die etwas unruhige Konfiguration des Terrains läßt diese Erscheinung von vornherein erwarten. Vor allem sind die orographischen Verhältnisse von großem Einfluß. Wenn in den höchsten und exponiertesten Berglagen 200—300 cm jährlicher Niederschlag festzustellen ist, so weisen die durch hohe Bergzüge abgeschirmten Täler nur 60—80 cm auf. Das nur schwach kupierte Schweizerische Mittelland verzeichnet 100 bis 120 cm.

*b) Kanton Schaffhausen.* Die vorgelagerten ausgedehnten Waldflächen des Schwarzwaldes entziehen den regenbringenden Westwinden die Feuchtigkeit weitgehend, so daß der Kanton Schaffhausen mit Recht als im «Regenschatten des Schwarzwaldes» liegend bezeichnet werden kann. Besonders niederschlagsarm sind das Hochplateau des Reiaths und der von Bergen eingesäumte Klettgau. Die im letzteren liegende meteorologische Station Hallau verzeichnete während einer 50jährigen Beobachtungszeit einen maximalen jährlichen Niederschlag von 1091 mm (1922) gegenüber einem minimalen von 509 mm (1929). Der Durchschnitt 1887/1936 beträgt 827 mm. Das Gebiet gehört somit zu den regenärmsten der Schweiz (vgl. die Abb. 1).

### *B. Künstliche Wässerung.*

*a) Bedürfnis.* Anlaß zur Prüfung der Frage der künstlichen Wässerung gaben die Konservenfabrik Hallau und die in ihrer Umgebung sich befindenden privaten Pflanzler mit ihren ausgedehnten Beeren- und Konservenobstkulturen. Verschiedene Fehljahre zeigten, daß der Mangel an notwendigen Niederschlägen während der kritischen Vegetationsperiode den Ernteertrag bis auf die Hälfte herabzusetzen vermag.



b) *Natürlicher Niederschlag und künstliche Wässerung.* Besonders empfindlich gegen mangelnde Feuchtigkeit sind die Beerenkulturen während der Reifezeit ihrer Früchte (Mai/Juni/Juli). Für den Nachwuchs der Jungpflanzen darf auch im August/September ein bestimmtes Maß von Niederschlägen nicht fehlen.

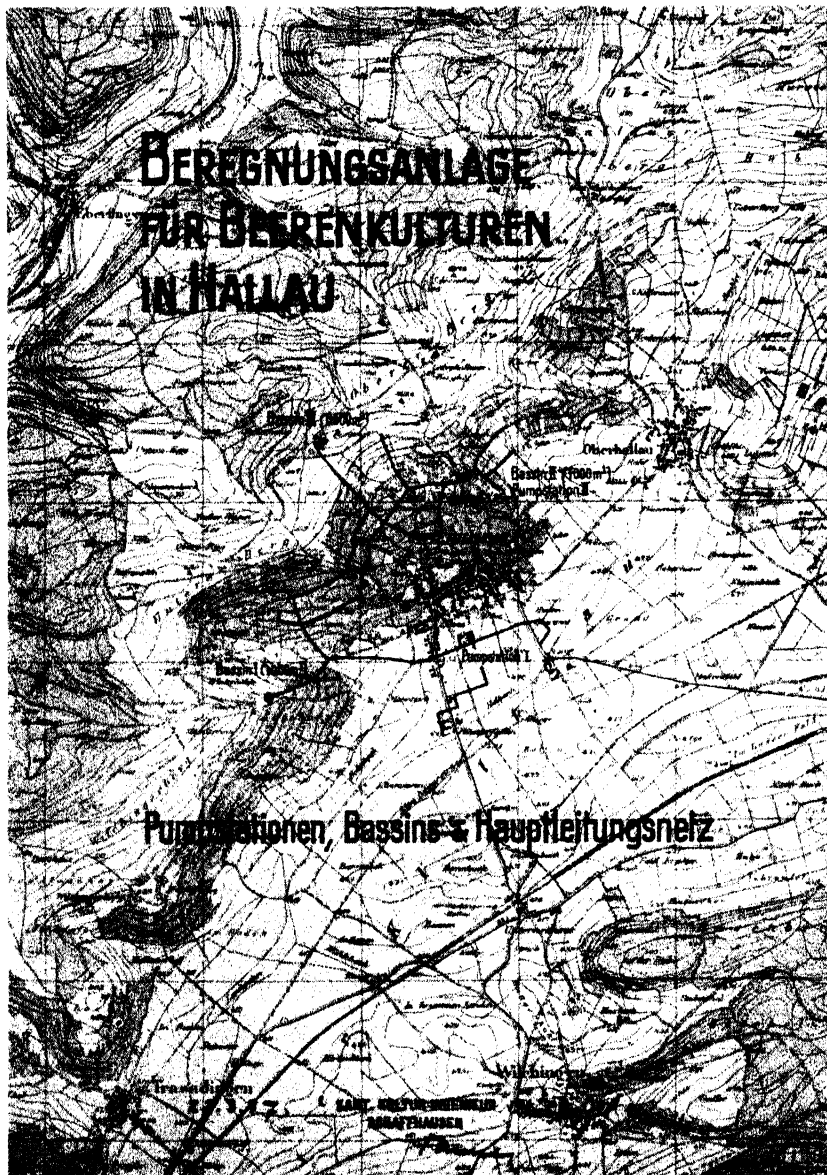


Abb. 2



An Hand der Niederschlagstabelle Abb. 1 wurde deshalb vorerst über eine Reihe von Jahren untersucht, wie häufig Trockenperioden eintreten und mit welcher zusätzlichen Wassermenge *mutmaßlich* gerechnet werden müsse. Die *effektive* künstliche Wässerung während der ersten 10 Betriebsjahre der Beregnungsanlage ergibt im Durchschnitt 40 mm. Sie bleibt demnach wesentlich unter den vermuteten zusätzlichen Mengen.

### C. Technische Anlagen.

Die Beregnungsanlage besteht gemäß dem Plane Abb. 2 aus:

a) *Grundwasserschacht mit Pumpstation I.* Der Schacht ist unmittelbar bei der Konservenfabrik Hallau (422 m ü. d. Meer) in einem Seitenarm des Grundwasserstromes im Klettgau abgeteuft. Die Schachttiefe beträgt 50 m, und der mittlere Grundwasserstand liegt bei 384 m Meereshöhe. Das Pumpenaggregat ist bei Höhenkote 389 m eingebaut und fördert 36 l/s (bei 12stündigem Betrieb 1560 m<sup>3</sup>/Tag) in das Leitungsnetz und die Bassins der unteren Druckzone.

b) *Bassin I der unteren Druckzone.* Das Bassin I liegt in halber Bergeshöhe auf 500,5 m Meereshöhe (116,5 m über dem mittleren Grundwasserstand der Pumpstation I). Es ist ein kreisrunder offener Eisenbetonbehälter von 1000 m<sup>3</sup> Nutzinhalt und dient der Beregnung des westlichen und südlichen Teils der Hallauer Beerenkulturen.

c) *Bassin II der unteren Druckzone und Pumpstation II.* Das Bassin II liegt auf 499,0 m Meereshöhe und ist durch das dazwischenliegende Leitungsnetz in kommunizierendem Zusammenhang mit dem Bassin I. Konstruktion und Inhalt sind gleich wie bei Bassin I. Es dient wie jenes der Beregnung in der unteren Druckzone, jedoch im östlichen Sektor.

Bassin II ist zugleich Pumpensumpf für die Pumpstation II, die das Wasser in das Höhenbassin III fördert bzw. die obere Druckzone beliefert.

d) *Höhenbassin III der oberen Druckzone.* Das Höhenbassin III liegt auf dem Hallauerberg in 570 m über Meer (71 m über Pumpstation II). Es ist als eingedämmter Weiher mit Lehmkerndichtung ausgebaut, hat einen Nutzinhalt von 6500 m<sup>3</sup> und dient der Beregnung sämtlicher in der oberen Hälfte des Hallauerberges gelegenen Kulturen.

e) *Leitungsnetz.* Das Leitungsnetz umfaßt:

1. Hauptleitungen ( $\varnothing$ 60—200 mm)	12 km
2. Zuleitungen ( $\varnothing$ 1"—2½")	15 »
3. Regnerleitungen: a) stationär	18 km
b) beweglich	3 »
	21 »
	<hr/>
	Totallänge 48 km

### D. Wasser-Auftrag (Beregnung).

a) *Vorwärmung.* Das Wasser im Pumpschacht hat eine Temperatur von 10—12° C. Der Betrieb des Pumpwerkes wird nun so

geregelt, daß die drei Bassins immer möglichst gefüllt sind und das Wasser auf diese Weise auf zirka 20° C erwärmt wird. Die Verwendung vorgewärmten Wassers hat sich auf das Pflanzenwachstum günstig ausgewirkt.

b) *Verteilungssysteme.* Die Verteilung des Wassers geschieht nach folgenden 3 Systemen:

1. *Mittelst Sprengdüsen.* In die 1''-Regnerleitungen sind in Abständen von 25 cm der Röhre entlang 1-mm-Sprengdüsen eingesetzt. Die Leitung selbst liegt auf Stützen 30 cm über dem Boden und ist von Hand drehbar (Regnerleitung und Stammleitung sind durch einen Schlauch verbunden). Auf diese Weise ist es möglich, die Beregnung der Windströmung anzupassen. Auch eignet sich dieses System vor allem für kleine und schmale Parzellen. Die beidseitige Wurfweite beträgt je zirka 5 m.



Abb. 3. Beregnung mittelst Brausen.

2. *Mittelst Brausen.* Dieses System unterscheidet sich vom vorhin beschriebenen nur dadurch, daß an Stelle der Düsen Brausen in je 10 m Entfernung eingesetzt sind und die Regnerleitungen nicht gedreht werden können. Diese Beregnungsart läßt sich auch noch recht gut für kleinere Parzellen verwenden, indessen besteht weniger Anpassungsmöglichkeit an die Windströmungen als beim Beregnen mit Sprengdüsen. Die benetzte Fläche ist quadratisch mit zirka 10 m Seitenlänge.

3. *Mittelst Lanninger-Regnern.* In den offenen großen Kulturlflächen wird zum Teil das *Lanningersche* Beregnungssystem angewendet. Voraussetzung ist, daß das Gelände eben ist. Gegenüber den beiden vorerwähnten Methoden hat dieses Verfahren den Nachteil, daß es mehr Arbeitskräfte erfordert. Die befeuchtete Fläche ist kreisförmig und hat einen Durchmesser von 20—40 m, je nach Wasserdruck und Größe des Regners.

c) *Wasserquantum und Bewässerungsdauer.* Um über das Verhältnis zwischen Druck, Wasserquantum und Bewässerungsdauer Anhaltspunkte zu erhalten, wurden verschiedene Beregnungsversuche durchgeführt, die folgendes Resultat ergaben:



Abb. 4. Lanninger-Regner.

Versuchsanlage: 1½''-Stammleitung mit drei 1''-Regnerleitungen von je 30 m Länge und 120 Düsen (1 mm). Beidseitige Wurfweite je 5 m. Beregnungsfläche 9 a (10 mm Wasser-Auftrag = 9 Kubikmeter).

Beregnungstabelle für 10-mm-Wasser-Auftrag.

Druck Atmosphären	Wasserverbrauch		Beregnungsdauer für 10 mm Wasser-Auftrag
	l/Min.	m³	
1	100	6,0	1 h 30 Min.
1,5	120	7,2	1 h 15 »
2	140	8,4	1 h 05 »
2,5	150	9,0	1 h 00 »
3	160	9,6	56 »
3,5	170	10,2	53 »
4	180	10,8	50 »
4,5	190	11,4	47 »
5	200	12,0	45 »

Über die zweckmäßigste Höhe des Wasserauftrages und die Häufigkeit desselben läßt sich keine feste Norm aufstellen. Sie ist von zu vielen Faktoren (Niederschlag, Kulturart, Bodenverhältnisse, Temperatur etc.) abhängig, als daß feste Daten angegeben werden könnten.

Im allgemeinen ist jedoch zu sagen, daß eine zu häufige Beregnung wegen Verschlammung und Verfestigung des Bodens wenn möglich vermieden werden sollte.

#### *E. Schlußbemerkung.*

Die Beregnungsanlage in Hallau ist in der ersten Periode ihres Betriebes nicht in dem Maße in Anspruch genommen worden, wie vermutet wurde. In den meisten Jahren waren die Niederschläge in den kritischen Monaten beinahe ausreichend, so daß mit ganz geringen Spitzendeckungen auszukommen war. Nur die Jahre 1929, 1933, 1934, 1935 weisen größere zusätzliche Wässerung auf. Indessen darf nicht übergangen werden, daß ein einziges ausgesprochenes Trockenjahr die Wirtschaftlichkeit der Anlage auf Jahre hinaus gewährleisten kann.

## 25. Irrigation par aspersion en U. R. S. S.

Par

M. E. G. Petrov à Moscou, U. R. S. S.

1<sup>o</sup> — Pendant les dernières années des essais d'irrigation par aspersion ont été poursuivis dans différentes régions de l'U. R. S. S.: depuis Odessa jusqu'à la Sibérie Occidentale et de Moscou jusqu'à Mourgaba.

Pendant ces essais on a étudié différentes cultures agricoles. Nous donnons ci-dessous les rendements obtenus pour les principales de ces cultures en quintaux par ha:

1. Cotonnier américain . . . . .	48,9
2. Cotonnier d'Egypte . . . . .	18,2
3. Luzerne . . . . .	150,0 (foin)
4. Maïs . . . . .	39,0
5. Tabac . . . . .	18,2
6. Froment . . . . .	35,0
7. Betterave sucrière . . . . .	1040
8. Cultures maraîchères . . . . .	560 (tomates).

L'aspersion garantit dans la grande majorité des cas de bons rendements ainsi qu'une haute qualité de la production.

La comparaison de l'aspersion avec les procédés ordinaires de l'irrigation superficielle a montré que les récoltes obtenues par l'emploi de cette méthode, non seulement ne le cèdent en rien à celles que procure l'irrigation ordinaire, mais surpassent même ces dernières. La qualité des récoltes est presque toujours meilleure par l'application de l'aspersion.

2<sup>o</sup> — L'étude de l'irrigation des grandes cultures par aspersion nous montre que les arrosages fréquents ont de grands avantages. Les expériences montrent que, pour la plupart des cultures, il est possible d'appliquer l'aspersion pendant les heures du jour, sans que cela nuise aux plantes. On a fixé les normes optima d'aspersion pour différentes régions et différentes variétés de sols.

3<sup>o</sup> — On a éprouvé et étudié en U. R. S. S. la plupart des appareils d'aspersion construits par différentes firmes étrangères. En même temps on a élaboré et construit de nouveaux arroseurs à longue et à faible portée. Dans plusieurs institutions scientifiques expérimentales on travaille à l'élaboration des nouveaux modèles d'appareils d'aspersion les plus rationnels. Pour le moment, nous avons à notre disposition les arroseurs suivants:

L'Institut scientifique expérimental Central d'Hydrotechnique et d'Amélioration à Moscou a construit un groupe d'arrosage «VNIIGiM»

du type des arroseurs à longue portée, utilisant la force motrice du tracteur C 3 — X 3 sans transmission par courroie. Ce mode de transmission a ici beaucoup d'avantages. Des modèles originaux sont aussi constitués par les appareils d'aspersion de «VNIIGiM» qu'on met en marche par une turbine à eau ou par un appareil à balancier.

L'Institut scientifique et expérimental d'Hydrotechnique du Sud à Novotcherkassk a construit un arroseur à longue portée qu'il a nommé «JushNIIGiM»; ce qu'il y a d'original dans cette construction, c'est ce que le groupe de pompe y est fixé sur le bâti du tracteur, ce qui permet de se passer du chariot spécial qui est nécessaire habituellement. Un modèle original est constitué par l'appareil d'aspersion de l'Institut de culture du coton de la Transcaucasie.

Parmi les arroseurs à faible portée qui sont étudiés en plusieurs endroits, il faut mentionner le modèle «KDI», qui se distingue par sa simplicité et se compose de pièces standardisées et de matériel d'incendie. Chaque collectivité rurale peut se construire facilement un semblable arroseur avec les moyens dont elle dispose et en recourant seulement à ses propres forces.

La station expérimentale de Moldavie a élaboré un modèle d'arroseur à faible portée ainsi qu'une tuyère originale, donnant une pluie de qualité supérieure.

Outre les institutions scientifiquement expérimentales, des organisations industrielles s'occupent aussi de la construction des arroseurs: le Metallotrust de Kharkov a construit cinq modèles d'arroseurs à longue ou faible portée; le trust «Veštogmasch» à Kiev construit aussi un modèle d'arroseur original, etc.

Les essais ont montré que tous ces modèles ne le cèdent en rien à ceux, si largement répandus, des firmes constructrices d'appareils et qu'ils ont même souvent des avantages précieux.

4<sup>o</sup> — L'agriculture socialiste mécanisée attend beaucoup de l'application de l'aspersion. Mais tous les types d'appareils dont nous disposons aujourd'hui — les appareils étrangers et ceux produits en U. R. S. S. — ne donnent point la possibilité de résoudre nombre de problèmes importants et c'est pour cela qu'ils n'ont pas beaucoup de chances de trouver une large application. Parmi les problèmes à résoudre ici en premier lieu, se trouve celui de l'augmentation du rendement du travail, ainsi que celui de la diminution des frais de construction.

Les arroseurs mobiles exigent de grands frais de matériel, et de main-d'œuvre ainsi que des dépenses élevées d'énergie mécanique pour leur utilisation.

Les arroseurs fixes sont très commodes et leur emploi présente de grands avantages, mais leur installation est très chère.

Les modèles d'arroseurs à longue portée permettent de plus grands écartements entre les conduites, ce qui diminue jusqu'à un certain point les frais d'établissement aussi bien lors de l'installation des arroseurs fixes, que lors de la construction des systèmes mobiles. Dans ce dernier cas, les frais d'exploitation ne sont pas si élevés que lors du travail avec des arroseurs fixes; malgré tout, les dépenses sont grandes. Quant à la qualité de la pluie produite par les arro-

seurs à longue portée, il faut constater qu'elle est inférieure à celle de la pluie produite par les appareils à faible portée.

Quand l'aspersion à longue portée est effectuée au moment où le vent atteint la vitesse de 2 mètres et plus par seconde, elle trouble la régularité de l'arrosage et diminue la productivité. L'aspersion à longue portée exige en outre de grandes dépenses d'énergie pour créer une forte pression. L'engouement pour les appareils à longue portée n'est pas suffisamment fondé; comme on le voit bien à présent, l'aspersion à faible portée a de grands avantages tant au point de vue économique que par son effet technique.

Le problème de la mécanisation de l'aspersion à faible portée est une question des plus actuelles; la direction dans laquelle il faut chercher la solution de ce problème, est pour le moment déjà fixée.

5<sup>o</sup> — *Méthodes d'aspersion par arroseurs, montés sur des chariots simples ou à chenilles.* L'idée de ces méthodes se réduit à une mécanisation du transport simultané des conduites d'eau et des appareils arroseurs.

Le système est muni pour cela d'un ou de plusieurs supports placés sur des chariots simples ou à chenilles. Par conséquent, théoriquement, ces installations d'aspersion peuvent être à plusieurs supports ou à un support avec des bras de deux côtés.

Ce qu'il y a de nouveau et d'essentiel dans ces méthodes d'aspersion, c'est ce que ces appareils travaillent tout en se déplaçant le long du champ; aussi en résulte-t-il un grand rendement de ces procédés qui sont de plus entièrement mécanisés.

Le problème de la construction d'un groupe d'arrosage à un support et à deux bras est résolu d'une manière plus ou moins satisfaisante. Voici les caractéristiques principales de ces appareils.

1<sup>o</sup> Longueur de chaque bras — 50—60 mètres,

2<sup>o</sup> Largeur de la zone arrosée — 110—130 m,

3<sup>o</sup> Vitesse du mouvement — 1500 m par heure,

4<sup>o</sup> Hauteur de pluie après un tour — 5 mm,

5<sup>o</sup> Dépense d'eau — autour de 100 m<sup>3</sup>/sec,

6<sup>o</sup> Pression dans la pompe — 1,3 atm.,

7<sup>o</sup> Surface arrosée en 24 heures (hauteur de pluie: 20 mm) — 36—40ha,

8<sup>o</sup> Dépense de main-d'œuvre: ruissellement — 5—7  $\frac{\text{hommes}}{\text{jour}}$ /ha,

aspersion à longue portée — 15  $\frac{\text{hommes}}{\text{jour}}$ /ha,

aspersion par chariots . . — 12  $\frac{\text{hommes}}{\text{jour}}$ /ha.

Dépense d'énergie avec norme d'arrosage de 240 m<sup>3</sup>/ha et durée du travail de 100 jours:

a) aspersion à longue portée 0,50 HP,

b) aspersion par chariots mobiles 0,17 HP.

On monte un semblable groupe d'arrosage sur un tracteur à chenilles «SchTZ» de 60 HP. Ainsi qu'on le voit d'après les indications

ci-dessus, ce groupe est capable de vaincre une grande partie des difficultés qu'on rencontre en appliquant les autres procédés d'aspersion. L'arrosage est entièrement mécanisé, il suffit d'une personne pour manier un appareil arrosant 12—13 ha par journée de travail. Ce rendement est cinq fois plus grand que celui qu'on obtient lors d'un arrosage superficiel par rigoles. Les conditions de vent n'ont qu'une influence médiocre sur la qualité du travail et le rendement du groupe d'arrosage.

On déplace le groupe le long d'un canal d'irrigation ou d'un fossé rempli d'eau: la hauteur de pluie qu'il produit par tour est de 5 mm. Pour réaliser l'humectation profonde du sol, l'appareil doit passer plusieurs fois au même endroit. Pour des arrosages légers, un tour suffit. Un défaut capital de l'appareil à deux bras, c'est que l'écartement entre les fossés est insuffisant, ce qui suppose une largeur restreinte du terrain. Mais on est parvenu à éliminer sensiblement ce défaut.

6° — Le problème de l'amélioration de la technique et de l'économie de l'aspersion doit être étroitement lié avec les problèmes agrotechniques; il faut prendre en considération l'influence de l'aspersion sur les processus physiologiques dans les plantes ainsi que sur la structure du sol et l'état de la couche d'air contiguë à la terre.

Ces problèmes ont été étudiés pendant plusieurs années dans différentes conditions climatiques et sur différentes cultures et différents sols.

7° — L'aspersion peut être appliquée avec succès dans les régions arides exigeant une irrigation régulière et intensive et dans des régions où l'humidité est variable et où l'arrosage n'est nécessaire que dans les périodes critiques de la végétation. L'irrigation par aspersion, par son caractère et la possibilité qu'elle offre d'être appliquée par doses fréquentes, peut contribuer à la création dans la couche d'air contiguë à la terre d'un milieu favorable pour nombre de processus physiologiques dans les plantes. Les essais de laboratoire et les expériences sur place ont montré que l'aspersion diminue la transpiration; les conditions de la photosynthèse deviennent meilleures, ce qui entraîne une augmentation de la récolte. L'aspersion mobile nous permet d'entreprendre une tâche que peut difficilement remplir une irrigation ordinaire, celle d'améliorer le climat. Par des arrosages rafraîchissants, on peut produire dans la couche d'air contiguë à la terre les abaissements nécessaires de la température et en même temps des augmentations de l'humidité relative de l'air pendant les périodes les plus chaudes; en réglant le facteur température dans les couches superficielles du sol, on peut contribuer à l'accroissement de la production des plantes. Ce rôle important de l'aspersion ne pouvait être développé et réalisé sans une technique appropriée. Cette technique est déjà trouvée à présent et on peut espérer qu'elle se perfectionnera rapidement.

Le problème de l'apport des engrais minéraux avec l'eau d'aspersion présente un grand intérêt. Ce problème est d'autant plus important qu'une partie des engrais ainsi apportés produit une alimentation supplémentaire des plantes. Cette méthode s'est montrée



parfaitement justifiée dans la pratique des «Stakhanovistes» en agriculture. Pour le moment, nous possédons, en ce qui concerne la technique de l'apport des engrais avec l'eau d'aspersion, des données expérimentales très nombreuses.

8° — La structure du sol présente un problème de grande importance en agriculture. Dans les conditions d'une irrigation ordinaire, les arrosages entraînent des changements très nuisibles de la structure des couches supérieures du sol en le pulvérisant et en le rendant plus compact. Ce fait se manifeste d'une façon très marquée dans la région des siéroziomes non-structuraux et dans les régions à sols analogues. Les arroseurs à longue portée produisent une pluie de mauvaise qualité. La très grande intensité de la pluie et les grandes gouttes d'eau, tombant avec beaucoup de force, déterminent la formation d'une couche compacte sur le sol; ce fait, défavorable par lui-même, a aussi une influence nuisible sur l'arrosage, en provoquant l'apparition de flaques et un écoulement superficiel. Ces observations sont confirmées par toute une série d'expériences.

L'action nuisible qu'exerce la pluie artificielle sur la structure du sol se réduit au minimum avec la diminution des dimensions des gouttes quand on pratique l'aspersion avec des arroseurs à faible portée. Les expériences effectuées montrent qu'une pluie avec des gouttes de 1,5 mm de diamètre et au-dessous, n'a pas d'influence sur le sol et permet même d'augmenter l'intensité moyenne de la pluie jusqu'à 1 mm par minute, tandis que lors d'une aspersion à longue portée une intensité moyenne de la pluie de 0,20 mm est déjà trop grande. Les mêmes expériences ont montré que la densité effective de la pluie des appareils d'aspersion à longue portée atteint 28 mm par minute en quelques points de la chute du jet. Une telle pluie, produite par un arroseur tournant, même pendant un temps court, est capable de bouleverser toute la structure du sol. La technique de l'aspersion gagnera beaucoup quand ce côté du problème aura attiré l'attention qu'il mérite.

Pour conclure, il convient de dire que l'intérêt pour les problèmes de l'irrigation par aspersion en U. R. S. S. dépasse le cadre des spécialistes de ce domaine. En U. R. S. S. en effet, l'aspersion attire l'attention de larges cercles de la société ainsi que du gouvernement; elle doit contribuer à la mécanisation des procédés d'irrigation; on la considère comme une nouvelle méthode pour augmenter la productivité des plantes, en agissant plus efficacement sur le sol, sur l'état de l'air, ainsi que sur les plantes elles-mêmes.

## 26. Sewage irrigation in Western United States

By

Wells A. Hutchins, Irrigation Economist, Washington, U. S. A.

Irrigation of crops with sewage has never been practised extensively in the Western States, where water rather than land is the controlling factor in agricultural development. Nor has the idea been generally popular. There is prejudice in some quarters against the consumption of sewer-farm products, and State regulations have become increasingly stringent. However, the practise is being followed by a number of Western municipalities and is of economic importance to them.

### *Recent Practises.*

A study was made in 1934 and 1935 by the Division of Irrigation, Bureau of Agricultural Engineering, to determine the extent and implications of sewage irrigation in the Western States. The survey disclosed a minimum of 100 municipalities in the West, the sewage of which was being used in producing crops. Nearly half of these were in California and about one-third in Texas. It is believed that this study included a very high percentage of all Western localities following this practise.

The largest cities, as a rule, were not then disposing of sewage for irrigation. Considering cities with population over 10,000, the practise was being followed by about one-fourth of those in California, led by Pasadena, the eighth city in size; and by about one-fifth of those in Texas, led by San Antonio, the third largest city. However, the sewage from Salt Lake City was being used directly for crop irrigation; while that from Denver and Cheyenne was being turned into streams (one of the Denver sewers discharging directly into an irrigation canal) from which diversions were shortly made for irrigation purposes.

An analysis of the reasons for the adoption of irrigation as a means of sewage disposal indicates that disposal of the sewage has been usually the primary consideration, and crop production incidental. Disposal upon land has appealed to many communities as the most convenient and economical method, and in many places where this has been done the opportunity has been taken of offsetting the cost by revenue from crop production or from disposal of the sewage to individuals, for compensation, for private use in crop production. In practically three-fourths of the cases included in the survey, irrigation was found to have been a secondary consideration, in some

instances a later development. In the other cases it was a part of the plan of disposal from the start, or else such an important part of the set-up that it may be classed as a primary consideration.

In certain communities raw sewage was formerly used for the irrigation of crop land in the summer and bare land in the dormant season, because that seemed less objectionable than to discharge it into streams. Subsequently, with the construction of treatment plants in these places, irrigation has come to be restricted to crop use during the growing season, the effluent being turned into streams in the winter.

Instances were found in which the effluent was given to farmers for irrigation as an accommodation during periods of drought.

Most Western communities which employ sewage in the irrigation of crops have treatment plants of some kind. In 14 cases in the summer of 1934, raw sewage was found to be applied to crop land, in a few instances, for one reason or another, being diverted from out-fall lines above treatment plants. Public opinion does not support this practise and it appears to be steadily decreasing. About three-fourths of the plants visited at that time were *Imhoff* tanks and ordinary septic tanks. There were also several activated sludge plants, several clarifiers, and a few systems of ponds. Sprinkling filters and chlorinators were being used in connection with some of the treatment plants; but in several such cases the effluent was conducted through the sprinkling filter, or was chlorinated, only when about to be discharged into a stream, and was by-passed for irrigation use. There are also various places, in addition to Denver and Cheyenne, above noted, where sewage effluent is used for irrigation after having been discharged into a stream and mingled with whatever water may be flowing at the time, the degree of dilution varying greatly from time to time. There is a wide variation in the appearance of sewage effluents used for irrigation, ranging from those that are clear and sparkling to those carrying large quantities of visible solid matter.

Various municipalities in the West retain control of the effluent at all times until its discharge upon land or into a stream. They have their own sewer farms, managed by their own employees, raising feed for the city work stock or selling the crops on the market. Other municipalities own sewer farms but lease them to individuals. Still others dispose of the effluent for irrigation to individuals for use on lands neither owned nor controlled by the city.

The soils of the Western sewer farms and private lands irrigated with sewage and sewage effluent were found to be predominantly of open texture. They include some gravelly loams, but are principally sands, sandy loams, and loams. However, a fairly large percentage consist of clay loams, and there are even some clays and clay adobes.

The crops most widely distributed in 1934 on these sewage-irrigated lands were alfalfa, corn, fruit trees and vines, vegetables, pasture, hay, and grain. Vegetables were being irrigated with either treated or raw sewage in more than one-fifth of the localities visited; but it is important to note that although there were some rather extensive

commercial layouts, the usual case was a garden of one-half acre or thereabouts, cultivated by the plant operator for his own use. Other less widely distributed crops included cotton, beans, hegari, sorghum, sugar beets, hops, small fruits, vetch, seed, and stock melons.

### *Some Problems.*

Handling the sewage effluent involves certain departures from the usual technique of handling irrigation water supplies. The effluent is a continuous stream, varying from hour to hour and from month to month, but never ceasing; it is heaviest in flow in the summer when most needed for crop use, but flows substantially at all times. It must be disposed of, whether needed by the crops or not; therefore filtration beds or uncropped areas must be provided in addition to the cultivated areas, or the effluent be conditioned for discharge into a stream channel, when not used for crop irrigation. Likewise the effluents from most of the treatment plants visited in 1934 were unstable. They sometimes caused sludge deposits in the irrigation canals, and were generally less pleasant to handle than clear and stable flows of water. This is entirely aside from the pathological aspects, which present problems to the sanitary engineer.

Financial considerations in the disposal of sewage for irrigation include ascertainment of permissible costs of water for irrigation; that is, what the lands capable of being served with sewage can pay for the reclaimed water. A city must dispose of its sewage in a manner acceptable to the State sanitary engineering authorities; that is fundamental. For example, certain State regulations forbid the use of raw sewage for irrigating growing crops of any kind, and forbid the use of only settled or partially disinfected sewage for irrigating vegetables or fruits in contact with the ground. If, then, the approved method of disposal of a given city does not permit crop irrigation, the availability of its sewage for that purpose will depend upon the ability of irrigable lands to pay the cost of any additional treatment required by the State over the city's present method of disposal. Again, if the present approved method of disposal permits the irrigation of only forage crops, then the use of the effluent for truck gardens will depend upon the ability of the truck lands to pay the further cost of producing an oxidized effluent highly disinfected or otherwise adequately treated for removal of harmful bacteria. The earning power of the irrigable lands is the criterion.

Municipal sewer farms frequently fail to show net returns comparable to those of privately operated farms in the same vicinity, and should not be expected to do so. The primary function of a sewer farm is to absorb sewage. Its layout and management are directed to that purpose. Profits from farming operations serve to reduce the cost of sewage disposal and obviously are as important as any other operation economy. But if a well-managed sewer farm incurs a deficit due wholly to the requirements and limitations incident to its primary function, such deficit is properly a part of the cost

of operating the City's sewage disposal plant and is to be taken into consideration in the original estimates of cost.

Sludge as a marketable by-product of the sewage disposal plant has a bearing upon the cost of operation. Some of the larger cities handle their sludge fertilizer as a distinct commercial enterprise. The smaller ones sometimes find a market through independent dealers, but in many cases find it necessary to sell the sludge at nominal prices, or give it away, or destroy it.

Problems of public sanitation, of course, are obvious. The States have their public-health laws and regulations concerning disposal of sewage and prevention of stream pollution. In some of the Western States there has been little experience with sewage irrigation and consequently little or no legislation on the subject; in others the experience has been considerable, and general laws and specific regulations have resulted. There is a wide range in the extent of police power granted to State sanitation officials in enforcement of their regulations. In some States they must rely largely upon the effect of persuasion.

Esthetic considerations are likewise involved in sewage irrigation. The American public is not used to the consumption of foodstuffs known to have been produced on sewer farms. Regardless of the cold scientific aspects of the problem, prejudice unquestionably exists in certain places. This has been observed to extend not only to food for human consumption, but to alfalfa for work stock. However, it has also been observed that with the failure of anticipated ill effects to develop, initial prejudice has subsided.

The responsibilities of public-health officials in regulating sewage irrigation really involve a balancing of public interests. They have in this at least two concerns — on the one hand, to interfere as little as possible with agricultural practises not clearly injurious to the public health; and on the other hand, to encourage no relaxation from the growing public consciousness of the importance of proper sanitation. Excellent work has been done by scientists who have investigated the survival of pathogenic organisms. Nevertheless it appears that further research into the minimum safety requirements for sewage irrigation is needed. For the present, it is believed that the safer plan is to adhere to the highest standards imposed by those State authorities who have had most to do with the problem.

## 27. Supplemental irrigation in the Eastern United States of America

By

*F. E. Staebner*, Drainage Engineer, Washington, U. S. A.

Sprinkling irrigation is probably the most popular type of supplemental irrigation used in the eastern humid section of the United States. This is in spite of its high investment cost per acre which, for the field equipment alone, may be expected to involve a cash outlay ranging from \$175 to \$400 per acre depending upon the acreage irrigated and upon how much of the fabrication and construction work the farmer wishes to do for himself rather than by the company furnishing the irrigation outfit.

For the ten years preceeding 1935, the overhead pipe type of sprinkling irrigation was almost universally used. Its ability to deliver uniform irrigation with very little labor or attention is generally recognized. Of a group of 16 irrigators using this method on a total of 446 acres, or an average of 28 acres each, it developed that three of the 16 had equipped their entire acreage with irrigation and 7 were contemplating extensions before the next cropping season. Only 2 of the group had practiced irrigation for as little as 3 years and on an average these men had irrigated for 9 years.

Results reported by various growers for 1936 were as follows:

Cauliflower	\$110 per acre profit.
Potatoes	Tripled yield.
Potatoes	Over \$200 per acre (gross).
Strawberries	\$760 from one acre (gross).
Strawberries	248 crates per acre as against 41 crates per acre from unirrigated plots.

Over a period of years one spinach grower located in the state of New Jersey reports an average increase of 233 crates (substantially bushels) per acre from irrigated land as compared with unirrigated land.

Irrigation of this type has been in use long enough to have its good points and limitations rather clearly defined and hence to have become pretty well standardized. Some changes are taking place, however. The most pronounced change seems to be the increasing number of installations having their sprinkling pipes supported at a height of 4 to 4½ feet above the ground. This seems to be a satisfactory height from the standpoint of cleaning nozzles or servicing oscillators and yet interferes but little with cultivation whether by means of garden tractor or horse-drawn equipment. Some of the

older outfits of high-post type have been lowered to this elevation and some low-post ones raised. This height of sprinkler pipes does not permit of cross cultivation as does the high-post installation.



Fig. 1. Overhead pipe type of sprinkling irrigation equipment.

The use of oscillators to rotate the pipes seems to be increasing. These devices require some servicing, primarily cleaning and sometimes lubrication, but they decrease the attention necessary when irrigating.



Fig. 2. Oscillator for rotating nozzle pipe on overhead pipe sprinkling irrigation system.

Oscillators are most commonly portable and are moved from pipe to pipe as irrigation progresses. The more compact oscillators seem to be preferred as there is less likelihood of getting snagged on harness and tractors or cultivator parts. Interchangeable oscillator connection fittings that make it possible to easily and quickly install or remove an oscillator without the use of tools are obtainable.

While these fittings are more expensive than ordinary pipe fittings, their use is very desirable and accomplishes material savings over a period of years. The nearly frictionless bar type of supporting hanger for the nozzle lines seems to be very satisfactory where the pipes are rotated by oscillators. These bar type hangers simply provide a horizontal support on which the pipe may rotate with raised projections at either side to prevent a pipe rolling off.

Sprinkling irrigation with portable pipe lines is the newest type of irrigation and its use is expanding. These systems commonly use 6-inch semi-portable header pipes and 4-inch portable lateral pipes laid on the ground. Large-range whirling spray nozzles are placed at intervals along the lateral pipes. Joints that may be quickly

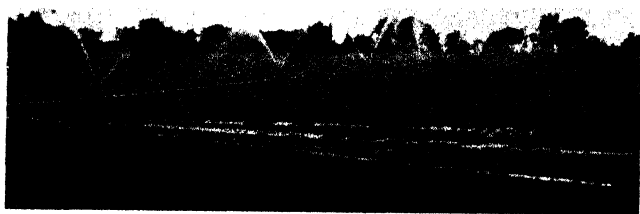


Fig. 3. Irrigating with portable sprinkling equipment.

assembled or disassembled are used between the pieces of pipe that make up the main or the laterals. Although the cost of the units is high, the cost of equipment or of irrigation on a per acre basis may be low because of the portable feature. Equipment costs as low as \$30 to \$40 per acre and operating costs as low as \$1.50 per inch of irrigation applied have been reported.

The sprinkler nozzles are commonly placed 40 feet apart along the portable lateral pipes and the lateral pipes are moved 40 feet to a new and parallel location after completing the watering from one set-up. Under such conditions a nozzle or sprinkler with a spraying range (i. e. diameter of wetted circle) of 55 to 60 feet would probably be used. Other placings of sprinkler heads and sprinklers of larger and smaller range may also be used depending upon conditions.



## 28. Les conditions de l'irrigation dans les champs d'épandage de la ville de Paris

Par

M. P. Rolley, Professeur à l'Ecole Supérieure du Génie rural  
à Paris, France.

La ville de Paris évacue journellement environ 950.000 m<sup>3</sup> d'eaux usées qui sont en grande partie amenées sur les champs d'épandage situés en aval de la capitale, de part et d'autre de la Seine, pour y être épurées.

Les trois grands collecteurs de Clichy, Asnières et Marceau amènent les eaux d'égoûts à la station élévatoire de Clichy qui élève en été environ 600.000 m<sup>3</sup> par jour à 6 m de hauteur. Puis les deux usines de Colombes et de Pierrelaye disposées en cascade refoulent les eaux sur les terrains d'épandage à 35 m de hauteur. La puissance totale installée dépasse 10.000 CV.

Le collecteur Nord par sa grande et sa petite dérivation alimente par gravité les terrains d'épandage de Gennevilliers.

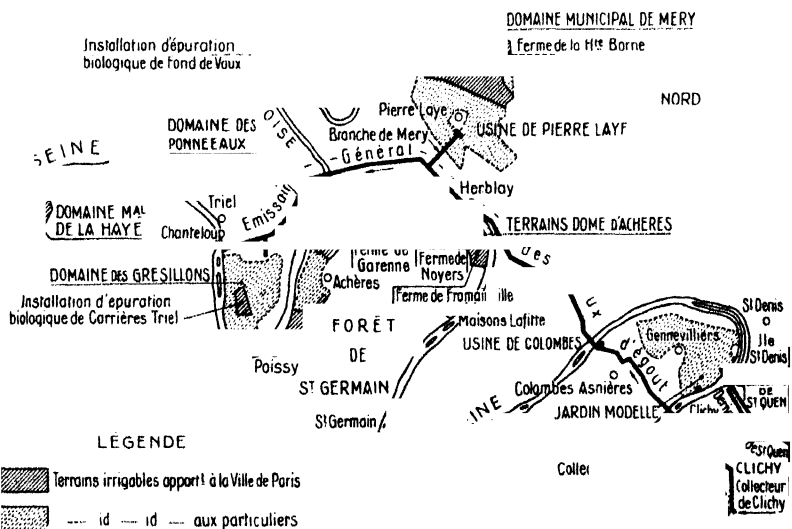


Fig. 1

Le tableau ci-dessous donne les surfaces des divers champs d'épandage en distinguant celles qui appartiennent en propre à la ville de Paris et celles que possèdent les particuliers.

	Surface totale ha	Domaine de la ville ha	Terrains particuliers ha
Gennevilliers. . . . .	767	6	761
Achères . . . . .	1.366	1.200	166
Méry-Pierrelaye . . . .	2.010	500	1.510
Carrières-Triel . . . .	950	85	865
	5.093	1.791	3.302

La distribution des eaux sur les surfaces à irriguer se fait sous pression par un réseau de canalisations en béton armé d'un diamètre variant de 1 m 10 à 0 m 30, établi tantôt suivant le système ramifié, tantôt suivant le système maillé. Des cheminées d'équilibre et de déversement facilitent l'exploitation et évitent les accidents. La longueur totale du réseau est de 253 km avec 2.870 bouches d'irrigation.

#### *Les eaux à épurer.*

Les eaux d'égoût telles qu'elles sont amenées aux stations de pompage, contiennent des matières flottantes et des matières lourdes. Leur composition est extrêmement variable non seulement avec la saison, mais dans le cours de la même journée. Voici une moyenne par mètre cube pour 5 mois d'été:

Azote ammoniacal . . . . .	21 g 61
» organique en solution . . .	7 g 66
» organique en suspension . .	25 g 85
» nitrique. . . . .	0 g 73
	55 g 85
Acide phosphorique . . . . .	12 g
Potasse . . . . .	45 g
Chaux . . . . .	377 g
Magnésie . . . . .	104 g

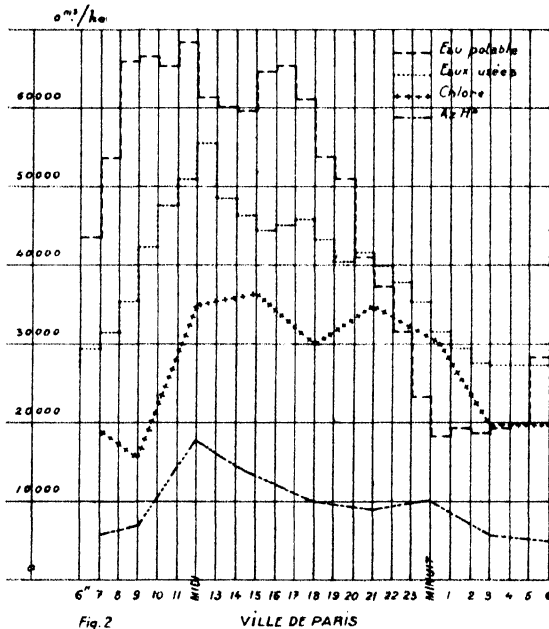
Avant d'être refoulées ces eaux subissent dans des bassins appropriés situés aux abords des usines élévatoires un dégrossissage énergétique les débarrassant des matières encombrantes lourdes ou flottantes. Elles arrivent sur les champs d'épandage déjà un peu clarifiées et ne contenant plus que 500 g de matières sèches par mètre cube, 40 à 50 g d'azote sous des formes diverses, 56 g de chlore. La réaction de ces eaux est légèrement basique. Le graphique n° 2 donne le débit en eau potable et en eau usée de Paris par journée sèche avec les variations de l'azote ammoniacal et du chlore.

On voit que ces eaux sont relativement riches en azote mais pauvres en acide phosphorique et en potasse.

## Le sol.

Les champs d'épandage sont situés pour partie dans la vallée de la Seine et pour partie sur le plateau de Pierrelaye.

Le sol de la vallée constitué par des alluvions sablonneuses très perméables est particulièrement apte à recevoir des arrosages. De plus il a été drainé à une profondeur dépassant généralement 2 m de sorte qu'on n'a pas à craindre le « noyage » de la surface.



*Variation des débits en eau potable et en  
eau usée et de la composition de celle-ci  
dans le cours d'une même journée  
(d'après Sentenac)*

Profil d'un tel sol :

	0,25	Couche arable noirâtre
	0,55	Sable fin rougeâtre
B		Bancs calcaires discontinus

Le sol du plateau est sensiblement moins perméable, il est constitué par des sables de Beauchamps très fines reposant en profondeur sur du calcaire grossier généralement fissuré. Le coefficient de perméabilité déterminé par la méthode d'infiltration de l'eau dans des trous de sondage à l'aide de la relation :

$$K = \frac{\varphi(x_1) - \varphi(x_2)}{\Delta t}$$

a donné les résultats suivants :

Moyenne de 3 essais dans un champ de carottes bien cultivé.

Le sol est constitué jusqu'à 0 m 45 de profondeur par du sable d'abord brun foncé puis rougeâtre et au-dessous par du calcaire dur en petits bancs discontinus. On obtient comme vitesse de filtration par unité de pente:

$$K = 0,000012 \text{ (mètres par seconde).}$$

Dans un champ de céleri ayant le profil suivant:

de 0,00 à 0,25 sable noir humifère,

de 0,25 à 0,85 sable blanc très fin,

de 0,85 à 0,90 petits bancs calcaires peu compacts,  
on obtient  $K = 0,00001$ .

Enfin dans un champ voisin du précédent et de même nature de sol mais qui n'a jamais été arrosé par des eaux d'égout:

$$K = 0,00000954.$$

On peut conclure que 40 années d'arrosage avec des eaux riches en matière organique n'ont nullement modifié la perméabilité du sol naturel. Il n'y a aucun colmatage appréciable grâce aux façons culturales qui sont multipliées sur toutes ces surfaces afin de favoriser la destruction de ces matières. On peut noter la différence avec les irrigations du Vaucluse qui pratiquées avec les eaux de Durance très chargées de limons colmatent peu à peu les terres arrosées et accroissent progressivement leur imperméabilité.

### *Les conditions de l'irrigation.*

La loi du 4 avril 1889 impose à la ville de Paris l'obligation formelle de ne déverser ses eaux d'égout que sur des terrains cultivés. De ce fait, les cubes à déverser sont strictement limités aux possibilités de la culture. Après de multiples essais la ville fixa à 40.000 m<sup>3</sup> par an en moyenne le volume qui devait être déversé annuellement par hectare sur les domaines lui appartenant tandis que les particuliers conservaient toute liberté pour fixer eux-mêmes ce volume sur leurs propres terres.

Or le sol du plateau de Pierrelaye par exemple a une capacité de rétention de l'ordre de 0,28 et un coefficient de flétrissement de l'ordre de 0,08. La dose à employer ne doit donc guère dépasser par arrosage (0,28—0,08)  $10.000 \times 0,5 = 1.000 \text{ m}^3$  par hectare (si on fixe à 0 m 50 la profondeur normalement atteinte par l'arrosage).

Pour utiliser les 40.000 m<sup>3</sup> il faudrait donc effectuer 40 arrosages par an ce qui est nettement excessif pour des terres de culture sous le climat parisien, même lorsqu'elles portent des cultures exigeantes en eau telles que les artichauts, le céleri rave, les choux, le maïs, etc.

Aussi la ville a-t-elle été dans l'obligation de laisser ses fermiers réduire ces chiffres sur les cultures maraîchères et de créer des zones spéciales plantées en peupliers sur lesquelles elle peut effectuer des arrosages intensifs. De plus, pendant l'hiver elle reprend aux fermiers certains terrains dits «réservés» sur lesquels elle pratique pendant 5 à 6 mois (sol nu) ces mêmes arrosages intensifs. Enfin elle a imposé

à chaque ferme une surface minimum en prairie sur laquelle les déversements peuvent être abondants.

En définitive on peut dire que la grosse difficulté de l'opération résulte de l'extrême variation des besoins en eau des plantes et des débits évacués qui sont en complète discordance. Durant l'hiver et le printemps il y a un gros excès d'eau d'égout qu'on est obligé de rejeter partiellement dans la Seine tandis qu'en été, cette eau fait plutôt défaut et les cultivateurs sont obligés d'espacer leurs arrosages. C'est ainsi que l'usine de Pierrelaye qui dessert 2.000 ha fournit en moyenne pendant l'été un débit de 2 m<sup>3</sup> 300, ce qui correspond à 1 litre 15 par hectare et par seconde, module nettement insuffisant pour des cultures maraîchères même sous le climat de Paris.

### *Nécessité d'engrais complémentaires.*

Au point de vue agricole une dose annuelle de 40.000 m<sup>3</sup> représente un apport de 1.800 kg d'azote, 480 kg d'acide phosphorique, 1.800 kg de potasse et 15.000 kg de chaux alors que les récoltes n'exportent approximativement dans les cultures intensives que 200 à 300 kg d'azote, 50 à 80 kg d'acide phosphorique, 200 à 300 kg de potasse. On se rend compte du gaspillage en éléments fertilisants que provoquent de tels arrosages mais la nécessité de l'épuration prime ici toute autre considération.

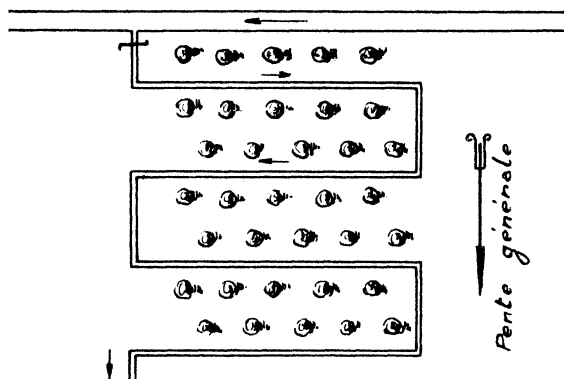
La terre ainsi soumise à des arrosages intensifs est d'ailleurs loin de s'enrichir; de nombreuses analyses ont montré que l'azote était à peu près entièrement entraîné par les eaux de drainage et qu'il ne restait dans la couche superficielle que les matières organiques solides qu'une aération intensive par binages répétés finissait par détruire. L'acide phosphorique est mieux retenu par le pouvoir absorbant du sol mais la potasse est exportée passivement ainsi que la chaux.

Sur les terres cultivées intensivement et qui ne reçoivent que 6.000 à 10.000 m<sup>3</sup> d'eau d'égout, il est indispensable de compléter la fumure apportée «fumure déséquilibrée» comme nous l'avons vu, par des doses importantes d'engrais chimiques (nitriques, phosphatés et potassiques) et pour certaines cultures de fumier ou de gadoues.

### *Méthodes d'irrigation employées.*

Dans les terres de culture l'unique méthode d'irrigation employée est l'arrosage à la raie. Elle présente le grand avantage d'être simple et de soustraire les plantes au contact de l'eau ce qui est essentiel au point de vue physiologique. Par contre elle est assez coûteuse à établir et nécessite une surveillance attentive. Ces raies sont espacées de 0 m 50 à 0 m 80 suivant les cultures et fort peu profondes. Elles sont souvent disposées pour humecter les plantes par contournage c'est-à-dire que l'eau suit une route sinueuse ce qui diminue sa vitesse allonge la rigole et facilite l'infiltration. Le coefficient K déterminé comme il a été indiqué précédemment étant voisin de 0,00001 on voit

que pour faire absorber une dose de  $1.000 \text{ m}^3$  par ha soit 0 m 10 il faut  $\frac{0,10}{0,00001} = 10.000$  secondes soit 3 heures environ. Si la section



### IRRIGATION PAR CONTOURNAGE

Fig. 3

mouillée (largeur d'infiltration de chaque rigole) est de 0 m 30 il faut comme longueur de rigole par litre/seconde admis dans cette rigole:

$$\frac{0 \text{ m}^3 \text{ 001}}{0,30 \times 0,00001} = 300 \text{ m environ}$$

pour assurer l'absorption complète de ce débit. Comme les planches ont rarement parcelle longueur, la nécessité s'impose de procéder par « contournage » et de surveiller attentivement la distribution pour éviter la formation de flaques d'eau aux points les plus bas de chaque parcelle. De plus un léger binage doit précéder chaque arrosage pour éviter le feutrage du sol et maintenir sa perméabilité. Une main-d'œuvre abondante et très expérimentée est donc indispensable.

Sur les prairies on procède le plus souvent par ruissellement simple mais comme les doses employées sont fortes, la flore uniquement composée de graminées et de certaines labiées est grossière et le foin de peu de valeur nutritive.

Bien que la réaction des eaux d'égout soit légèrement basique, on signale une acidification très nette du sol au voisinage des bouches d'arrosage par suite de la formation massive d'acide nitrique qui finit par entraîner les bases. Des chaulages spéciaux sont ainsi nécessaires pour maintenir l'activité bactériologique du sol.

#### *Maladie spéciale aux terrains irrigués; la Chlorose.*

Certaines surfaces irriguées formant généralement des dépressions, ne portent souvent que des plantes jaunâtres, chlorotiques.

Les cultivateurs disent que le sol est « brûlé » et devient incapable de porter des cultures sauf de graminées.

La cause de cette anomalie réside dans la composition des eaux d'égout riches en chaux et en soufre, pauvres en fer. Par évaporation et spécialement dans les dépressions où la nappe souterraine se rapproche de la surface du sol, il y a dépôt incrustant de carbonate de chaux s'opposant à l'absorption du fer par les racines. Le travail chimique nécessaire pour solubiliser la couche incrustante entourant les particules terreuses peut être réalisé par les graminées dont les radicelles ont des sécrétions acides mais non par la plupart des espèces cultivées et celles-ci deviennent chlorotiques même si le fer est abondant dans le sol.

Le meilleur remède à cette situation est l'assainissement rationnel du sol pour éviter la remontée de la nappe et les dépôts incrustants dans les dépressions. On pourra également soit espacer les arrosages soit diminuer la dose. Lorsque le mal est déclaré on y remédie assez facilement par une pulvérisation sur les feuilles, d'une solution de sulfate de fer à 1 g par 10 litres d'eau.

On peut également comme moyen préventif incorporer au sol du sulfate de fer en neige.

On peut rapprocher ces accidents de ceux observés en Egypte sur les terres basses dus à la présence de certains sels ( $\text{NaCl}$  et  $\text{CO}_3 \text{Na}_2$ ) qui sous l'action de l'évaporation intense remontent en surface et rendent les terres infertiles.

Dans un cas comme dans l'autre, l'abaissement de la nappe souterraine est le vrai remède à conseiller.

### *Conclusion.*

Bien que le but recherché par la ville de Paris sur ses champs d'épandage soit l'épuration du plus grand volume possible d'eau d'égout, l'obligation imposée par la loi d'effectuer des cultures sur les terrains limite assez strictement les volumes d'eau à utiliser. On s'éloigne peu des grandes règles de l'irrigation humectante établies pour les pays méridionaux.

Il est en outre intéressant de constater que l'application depuis bientôt un demi-siècle de ces arrosages fertilisants sur des sols légers et naturellement sains n'a modifié ni leur structure ni leur perméabilité ni même leur fertilité.

# **IV. Unterirdische Bewässerung**

## **L'irrigation souterraine**

### **Subterranean irrigation**

#### **29. Essais d'irrigation souterraine continue** **«Système d'Avignon» en culture maraîchère**

Par

MM. *Jean Bordas*, Directeur, et *Gaston Mathieu*, Chef de Travaux,  
de la Station Agronomique d'Avignon, France.

Le procédé d'irrigation souterraine continue et automatique, ou «Système d'Avignon» a été décrit dans nos précédentes publications<sup>1)-3)</sup>. Rappelons brièvement qu'il consiste à arroser le sol par voie interne au moyen de canalisations en poterie poreuse, placées à 40–50 cm de profondeur et 1 m 75 à 2 m d'écartement.

Nous avons continué les essais entrepris en 1928, durant les années 1932 à 1936, sur diverses plantes maraîchères. Nous donnons ci-après les résultats obtenus.

#### *Année 1932. — Culture d'aubergines.*

L'expérience porte sur 4 parcelles, deux avec irrigation souterraine et deux avec irrigation superficielle. Pour chaque mode d'irrigation, une parcelle reçoit la fumure complète, l'autre est privée d'azote.

<sup>1)</sup> *J. Bordas* et *G. Mathieu*: Recherches sur la force de succion du sol et l'irrigation souterraine. *Annales Sc. Agr.* N° 2, 1930.

<sup>2)</sup> *G. Mathieu*: Contribution à l'étude de quelques rapports entre l'Eau, le Sol et la Plante. Etude d'un procédé d'alimentation souterraine des plantes en eau. Thèse Doctorat. Université (Sciences). Clermont 1932.

<sup>3)</sup> *J. Bordas*: Contribution à l'étude de l'irrigation souterraine. C. R. de la 6<sup>e</sup> Commission de l'A. I. S. S. Groningen 1932, vol. A, p. 214–236.



### *1<sup>o</sup> Irrigation souterraine.*

*Parcelle A.* Sans azote: 1000 kg superphosphate  
800 kg sulfate de potasse.  
(Epandage le 10 mai, 3 jours avant plantation.)

*Parcelle B.* 1500 kg de nitrate de chaux 13 p. % dont:  
500 kg à la volée le 10 mai,  
500 kg dans l'eau d'arrosage, le 25 mai et  
500 kg dans l'eau d'arrosage le 23 juin.  
 $P_2O_5$  et  $K_2O$  mêmes doses que parcelle A.

### *2<sup>o</sup> Irrigation superficielle.*

*Parcelle C.* Même formule que pour A.

*Parcelle D.* Même formule que pour B., le nitrate étant épandu dans les raies d'arrosage.

La plantation a eu lieu le 13 mai, en motte, pour favoriser la reprise.

Les conditions météorologiques furent défavorables à la végétation et à la fructification de l'aubergine, plante très exigeante au point de vue chaleur.

Les résultats ont été les suivants, rapportés à l'hectare:

Eléments déterminés	A	B	C	D
	kg	kg	kg	kg
Récolte totale des fruits . . . .	45.700	55.900	28.100	36.600
Poids total des fanes. . . . .	42.400	50.000	30.300	37.200
Azote total exporté . . . . .	410	520	285	410
Excédent par rapport au témoin sans N . . . . .		110		125
Azote apporté par la fumure .		195		195
N exporté				
Rapport $\frac{\text{N exporté}}{\text{N fumure}}$ . . . . .		0,56		0,64

L'irrigation souterraine a permis d'accroître les rendements de 50 à 60% par rapport à l'irrigation superficielle.

De même, l'effet du nitrate de chaux a été très sensible.

### *Années 1933 et 1934.*

Par suite de divers accidents cultureux, les expériences de ces deux années n'ont pas été satisfaisantes.

### *Année 1935. — Culture de pommes de terre.*

Les mêmes parcelles ayant servi aux essais de 1932 sont cultivées en pommes de terre variété «Triomphe de Juin» (plantation le 29 mars).

Etant donné l'échec des cultures de 1933 et 1934, il n'a pas été effectué de fumure de fond. Les diverses parcelles ont été traitées de la façon suivante:

*Irrigation souterraine.*

Parcelle A: Sans azote.

Parcelle B: 100 kg d'azote du nitrate de chaux par ha, en solution dans l'eau d'arrosage, le 15 mai.

*Irrigation superficielle.*

Parcelle C: Sans azote.

Parcelle D: 100 kg d'azote du nitrate de chaux par ha, dans la raie d'arrosage avant buttage, le 15 mai.

Pendant la végétation, on constate la présence de pieds chétifs en beaucoup plus grande proportion dans les parcelles arrosées superficiellement. Les tubercules de semence étant de même origine, nous attribuerons ces différences aux meilleures conditions de milieu réalisées par l'irrigation souterraine.

La récolte a lieu le 24 juillet et donne les résultats suivants (rendements rapportés à l'ha):

Eléments déterminés	Irrigation souterraine		Irrigation superficielle	
	A	B	C	D
<i>Tubercules:</i>				
Récolte en quintaux . . . . .	165	205	107	140
Azote exporté en kg . . . . .	90	107	62	82
<i>Fanes:</i>				
Matière sèche en quintaux . .	7	9	5	7
Azote exporté en kg . . . . .	17	22	15	18
Azote total exporté . . . . .	107	129	77	100
Excédent par rapport au témoin sans azote . . . . .	—	22	—	23
Azote de la fumure . . . . .	0	100	0	100
Rapport $\frac{N \text{ exporté}}{N \text{ fumure}}$ . . . . .	—	0,22	—	0,23

Ces résultats montrent l'influence de l'irrigation souterraine et du nitrate de chaux sur les rendements.

*Année 1936. — Culture de tomate.*

La plante expérimentée a été la tomate «de Marmande» variété utilisée pour la conserve. Les récoltes partielles eurent lieu du 4 août au 26 octobre et donnèrent les résultats suivants rapportés à l'hectare:

Eléments déterminés	Irrigation superficielle	Irrigation souterraine
Récolte totale en kg . . . . .	27.600	51.900
Indice de comparaison . . . . .	100	188
Matière sèche % . . . . .	4,3	4,2
Azote % . . . . .	0,115	0,110
Exportation totale d'azote en kg	32	57

Les déterminations des autres éléments de la qualité du jus de tomate, sucres et acidité, effectuées sur chaque récolte partielle, ont donné des résultats voisins avec les deux modes d'irrigation.

L'irrigation souterraine a donc presque doublé les rendements, par rapport à l'irrigation superficielle, sans diminuer la *qualité de la récolte*.

### 30. Essais d'irrigation souterraine discontinue «Système de Cavaillon»

Par

M. Gaston Mathieu, Chef de Travaux à la Station Agronomique  
d'Avignon, France.

#### *Influence des questions économiques sur la technique.*

Les expériences poursuivies durant plusieurs années à la Station Agronomique d'Avignon ont démontré la supériorité de l'irrigation souterraine continue sur l'irrigation superficielle. Dans ces conditions, il était possible d'espérer une vulgarisation rapide de la nouvelle méthode d'arrosage. Il n'en fut rien et ce pour trois raisons principales:

- 1<sup>o</sup> L'installation de l'irrigation souterraine continue est très coûteuse, plus de 20.000 francs par ha, actuellement.
- 2<sup>o</sup> Ce procédé ne permet pas d'utiliser les eaux limoneuses ou intermittentes.
- 3<sup>o</sup> Il est difficile d'obtenir industriellement des tuyaux d'une porosité homogène.

En fait, c'est surtout le prix élevé de l'installation qui a fait hésiter nos maraîchers de Provence, dont la situation économique était, et est encore, peu florissante.

Il convenait de tenir compte de ce facteur économique et de présenter à l'agriculteur un procédé moins coûteux, à la portée de ses moyens financiers réduits. C'est ce que nous avons essayé de faire en expérimentant un système d'irrigation souterraine discontinue.

#### *Le «Système de Cavaillon».*

C'est en 1933 que, sur les conseils de M. le Professeur *Blanc*, nous avons substitué aux tuyaux poreux, difficiles à fabriquer et coûteux, les simples drains en poterie, matériaux courants et d'un prix peu élevé.

Ce nouveau système, installé en 1934, chez quelques agriculteurs de la région de Cavaillon, fut baptisé par nous «Système de Cavaillon».<sup>1)</sup> Le dispositif d'arrosage est fort simple. En tête de la parcelle existe un simple fossé comme pour l'irrigation superficielle. De ce fossé partent des canalisations souterraines placées à 40 cm de profondeur et à 1 m 60 ou 2 m d'écartement. Elles sont constituées par des

---

<sup>1)</sup> G. Mathieu: Le Problème de l'irrigation du Melon. Rapport au Congrès du Melon, Cavaillon, juillet 1935.

tuyaux de drainage de 5 cm de diamètre intérieur, placés bout à bout. Pour éviter les obstructions possibles, l'entrée des canalisations est placée à quelques cm au-dessus du fond du fossé et protégée par une toile métallique.

L'eau est distribuée périodiquement, tous les 6 à 8 jours. Le débit instantané est le même qu'en irrigation superficielle, mais la durée de l'arrosage est réduite des  $\frac{2}{3}$ , d'où une grande économie d'eau.

Pour favoriser l'infiltration de l'eau dans les terrains en pente, un des expérimentateurs, M. *Jules Grand*, Président du Syndicat agricole de Cavaillon et Membre de la Chambre d'Agriculture de Vaucluse, a eu l'heureuse idée de placer des vannes de distance en distance sur la canalisation souterraine; l'usage de ces dispositifs permet de mieux répartir l'eau sur toute la parcelle.

### *Résultats obtenus.*

MM. *Jules Grand* et *Marius Jeune*, de Cavaillon ont utilisé ce système d'irrigation en 1934—35 et 1936, en particulier pour des cultures de melon.

Monsieur *Jules Grand* a rendu compte de ses essais et des comparaisons qu'il a faites entre l'irrigation souterraine et l'irrigation superficielle.<sup>1)</sup> Il indique les avantages suivants en faveur de l'arrosage interne:

1<sup>o</sup> Economie d'eau.

2<sup>o</sup> Economie de temps.

3<sup>o</sup> Economie de travail.

4<sup>o</sup> La surface du sol est toujours sèche, ce qui évite les mauvaises herbes et de nombreuses maladies.

5<sup>o</sup> On évite l'évaporation, ce qui rend la terre plus chaude et augmente la précocité des plantes.

6<sup>o</sup> La terre est toujours meuble à la surface.

7<sup>o</sup> L'irrigation se faisant sur toute l'étendue du champ en même temps, l'imbibition du sol est égale partout, ce qui se reconnaît à la régularité des cultures.

8<sup>o</sup> La terre est moins lessivée qu'avec l'irrigation en surface, d'où il résulte une économie appréciable d'engrais.

Les essais de MM. *Jules Grand* et *Marius Jeune* sur Melon, nous permettent d'évaluer la *précocité* de la récolte de huit à quinze jours, en faveur de l'arrosage souterrain. Cette avance a une grande importance au point de vue économique car elle permet de vendre les produits à des cours nettement plus élevés.

En ce qui concerne la *quantité* nous avons constaté que les rendements étaient deux à trois fois plus importants avec l'irrigation souterraine.

Enfin, au point de vue *qualité*, l'irrigation souterraine donne de meilleurs produits que l'irrigation superficielle; cette qualité peut être caractérisée par les observations suivantes:

<sup>1)</sup> *Jules Grand*: Rapports présentés à la Fédération départementale des Syndicats d'Amélioration des cultures fruitières et maraîchères, Avignon, octobre 1935 et décembre 1936.

- 1<sup>o</sup> Proportion nulle ou très peu élevée de melons fendus ou malades.
- 2<sup>o</sup> Odeur et saveur plus agréables.
- 3<sup>o</sup> Richesse en sucre plus élevée:  
Melons arrosés en surface = 80/90 g par kg.  
Melons arrosés souterrainement = 120/130 g par kg.

### *Conclusions.*

L'irrigation souterraine discontinue (Système de Cavaillon) est donc un procédé nettement supérieur à l'irrigation superficielle. D'autre part, il est plus pratique et son installation est plus économique que l'arrosage souterrain continu (Système d'Avignon). Il y aura donc lieu de l'étudier rigoureusement pour l'adapter aux diverses conditions de sols et de cultures.

# 31. L'irrigation souterraine continue et le chauffage électrique du sol

Par

M. Jean Bordas, Directeur de la Station Agronomique d'Avignon,  
France.

Nous avons essayé le chauffage du sol par deux méthodes:

1<sup>o</sup> En chauffant l'eau d'irrigation souterraine au moyen d'une résistance électrique. Cette méthode n'est recommandable que pour les serres étant donné son prix de revient élevé.

2<sup>o</sup> En chauffant directement le sol au moyen d'un fil spécial disposé en zig-zags et en ayant recours à l'irrigation souterraine.

Ce procédé qui a retenu spécialement notre attention est intéressant si on l'applique à l'obtention des semis sous châssis.<sup>1)</sup>

## *But des essais.*

Au point de vue agronomique, examiner les avantages combinés du chauffage électrique et de l'irrigation souterraine qui sont susceptibles d'apporter les conditions extrinsèques optima d'une bonne germination des graines potagères (température, aération, humidité).

Au point de vue économique, se rendre compte des possibilités pratiques d'un chauffage nocturne à l'électricité à des conditions rémunératrices (prix éventuel consenti: 0 fr. 30 le kilowatt-heure).

Trois points ont été envisagés pour la confection des couches:

1<sup>o</sup> *Chaleur.* 20 - 23° C ont été obtenus grâce à un fil chauffant électriquement, placé en zig-zag à 20 cm de profondeur; la distance entre les 2 branches du fil était de 25 cm. La consommation a été de 1 kw. h. par m<sup>2</sup>.

2<sup>o</sup> *Humidité.* Celle-ci a été maintenue à 20% au moyen de l'irrigation souterraine, dont nous avons décrit le principe précédemment. Ce procédé évite les bassinages répétés qui modifient la structure superficielle du sol et augmentent le degré hygrométrique de l'air en rendant les plants moins résistants aux maladies.

3<sup>o</sup> *Milieu sol.* On utilise une terre franche, vierge, mélangée à un terreau aseptique en évitant de prendre, comme il est coutume, une terre provenant du curage des fossés d'arrosages, apportant toujours de mauvaises semences, certains germes pathogènes ou des insectes.

<sup>1)</sup> J. Bordas: Le chauffage électrique des couches. Ann. Agr. 1934, p. 654/666.

La non observation de cette dernière condition a provoqué au repiquage, chez un cultivateur qui avait essayé ce procédé en 1936, une forte attaque de taupins, qui a annihilé les avantages de la méthode (*précocité*).

#### *Résultats obtenus.*

L'application de cette méthode permet la germination des graines maraîchères -- surtout celles des tomates, aubergines, et melons dans le minimum de temps (5 à 7 jours).

Le repiquage s'opère avec 15 jours à 3 semaines d'avance par rapport au témoin non chauffé.

En 1936, les essais faits à la Station et également chez deux propriétaires voisins du champ d'expériences MM. *Jean Garcin* et *Gabriel Guigue*, viennent confirmer nos expériences antérieures et nous pouvons conclure que cette méthode peut passer actuellement à la vulgarisation.



## 32. Arbeiten über die Untergrundbewässerung

Von

Prof. Dr. H. Janert, Leipzig, Deutschland.

Die Bemühungen um die Entwicklung eines praktisch brauchbaren Verfahrens der Untergrundbewässerung reichen sehr weit zurück. Schon bald nach der allgemeinen Einführung der Röhrendränung begannen die Versuche, Dränrohrsysteme oder diesen ähnliche, unterirdisch verlegte Rohrnetze für Bewässerungszwecke zu benutzen, indem die Rohre für die Heranführung und Verteilung des Wassers im Untergrundboden verwendet wurden. Allen diesen Versuchen ist ein bleibender Erfolg nicht beschieden gewesen, wenn auch gelegentlich mit einigen Anlagen unter günstigen Verhältnissen gute Ergebnisse erzielt worden sind.

Das Prinzip der Untergrundbewässerung ist aber so einleuchtend, und die zum mindesten theoretischen Vorzüge einer einwandfrei funktionierenden Untergrund-Bewässerungsanlage sind so offenbar, daß es der Mühe wert erscheint, die technischen Anforderungen der Untergrundbewässerung weiter zu erforschen und insbesondere die Ursachen der früheren Fehlschläge klarzustellen.

Bei der Untergrundbewässerung kommt es vor allem darauf an, im Untergrund, genauer gesagt, im Wurzelhorizont das Wasser möglichst gleichmäßig zu verteilen, ohne daß erhebliche Verluste durch Verdunstung an der Oberfläche oder durch Versickerung in die Tiefe eintreten. Im Wurzelhorizont selbst darf niemals ein Wasserüberschuß vorhanden sein, welcher die Durchlüftung des Bodens und die Ausbreitung der Wurzeln stören könnte, vielmehr soll dem Boden nicht mehr Wasser zugeführt werden, als er kapillar aufzunehmen und festzuhalten vermag. Wird der Zustand der kapillaren Wassersättigung des Bodens nicht überschritten, so bleiben die größeren Hohlräume wie auch Wurm- und Wurzelgänge von Wasser frei und können weiter der Bodendurchlüftung dienen.

Offenbar bedarf es einer sehr sorgfältigen und zuverlässigen Dosierung des Wassers, um dieser wichtigsten Forderung der Untergrundbewässerung gerecht werden zu können. Gewöhnliche Dränstränge sind hierzu nicht geeignet, und darum ist auch das altbekannte Verfahren der Dränbewässerung nicht gleichbedeutend mit der Untergrundbewässerung, wie sie heute aufgefaßt und angestrebt wird. Werden gewöhnliche Dränstränge für die Verteilung des Wassers im Untergrund benutzt, so tritt das Wasser durch die ungeschützten Stoßfugen so lange in den Boden über, bis dieser völlig überflutet ist, wobei zunächst die größeren Hohlräume mit Wasser angefüllt werden, von denen aus dann allmählich auch an die umliegenden

Kapillarräume Wasser abgeben wird. Darum ist auch die Dränbewässerung nur dort anwendbar, wo es sich lediglich darum handelt, einen in nicht allzu großer Tiefe vorhandenen Grundwasserspiegel durch Wasserzufuhr künstlich zu erhöhen, um ihn in Reichweite der Pflanzenwurzeln zu bringen.

Die Untergrundbewässerung der neueren Richtung, wie sie seit einigen Jahren von verschiedenen Forschern, insbesondere von *J. Bordas* und *G. Mathieu*, Avignon,<sup>1)</sup> verfolgt wird, hat mit dem primitiven Verfahren der Dränbewässerung kaum noch etwas gemein. Um die erheblichen Nachteile der Dränbewässerung, die beschränkte Anwendbarkeit dieses Verfahrens und vor allem die ihm eigentümliche Wasserverschwendung zu vermeiden, bemüht man sich jetzt um die Schaffung geeigneter technischer Hilfsmittel, welche eine ausschließlich kapillare Verteilung des Wassers im Boden ermöglichen sollen. Ganz folgerichtig hat man die früher benutzten gewöhnlichen Dränstränge durch geschlossene Rohrstränge mit kapillarporösen Wandungen ersetzt, so daß der Übertritt des Wassers aus dem Innern der Rohre in den Boden nicht mehr durch die groben Stoßfugenöffnungen, sondern nur noch kapillar durch die Poren der Rohrwandungen erfolgen kann. Die Rohre, die aus gebranntem Ton oder Beton gefertigt werden können, wurden bisher unter sorgfältiger Dichtung der Stoßfugen in zuvor ausgeschachteten Gräben von Hand verlegt.

Wird ein derart hergestellter Rohrstrang vorsichtig mit Wasser beschickt, ohne daß ein Überdruck im Rohr entsteht, so sind die Bedingungen für den Übertritt des Wassers und seine kapillare Ausbreitung im Boden schon bedeutend besser als bei Verwendung gewöhnlicher Dränstränge. Aber der Umstand, daß die Rohre nach der Verlegung in einem offenen Graben mit lockerem Boden abgedeckt und eingehüllt werden, muß sich doch ungünstig auf die kapillare Ausbreitung des Wassers nach den Seiten hin auswirken. Jedem Landwirt ist bekannt, daß der gewachsene Boden, der eine feste Struktur aufweist, das Wasser viel besser kapillar zu leiten vermag als ein gelockerter Boden. Darum wird ja der Kulturboden an der Oberfläche regelmäßig mit der Hacke gelockert, um auf diese Weise den kapillaren Aufstieg des Wassers zu unterbinden. Genau so ist die Wirkung der lockeren Bodenschicht zu werten, welche die von Hand verlegten Rohre umgibt. Die Rohre liegen nur mit einem ganz schmalen Streifen auf dem gewachsenen Boden der Grabensohle und sind im übrigen mit lockerem, strukturlosem Boden umhüllt, der sich zwar auch allmählich mit Wasser vollsaugt, dann aber eine breiige Masse bildet, welche die Bewegung des Wassers erschwert.

Am vorteilhaftesten wäre es zweifellos, wenn die Rohrstränge rundum oder doch annähernd vollständig mit gewachsenem Boden umgeben werden könnten, was mit handverlegten Rohren natürlich nicht zu erreichen ist. Dazu bedarf es einer Spezialmaschine, welche die Rohrstränge gleich im gewachsenen Boden herstellt, denn nur

<sup>1)</sup> Verh. d. VI. Komm. d. I. B. G., Groningen 1932.

so ist die Gewähr dafür gegeben, daß die Rohrwandungen fest an dem gewachsenen Boden anliegen und die Poren der Rohrwandungen unmittelbaren Anschluß an die Kapillarräume des umliegenden Bodens erhalten.

Zu diesem Zweck ist ein neuartiger Rohrpfug, Typ «Tubator», entwickelt worden, der in den folgenden Abbildungen dargestellt ist.

Die schematische Darstellung in Abb. 1 zeigt den Rohrformmechanismus, der in Anlehnung an das Arbeitsprinzip des Maulwurfdränpfluges ausgebildet ist. Ein besonders kräftiges Stahlschwert, das bis zu einer maximalen Arbeitstiefe von 0,75 m vertikal verstell-

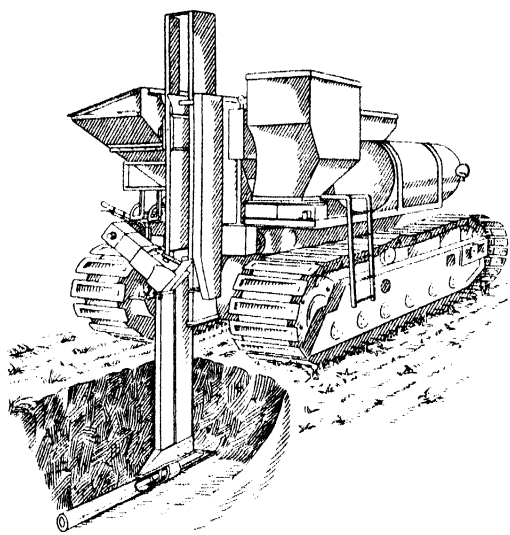


Abb. 1: Rohrpfug «Tubator».  
Schematische Darstellung.

bar ist, und das am Grunde einen granatenförmigen Maulwurfkörper trägt, bildet den wichtigsten Bestandteil. Indem das Schwert in der gewünschten Tiefe durch den Boden gezogen wird, preßt der Maulwurfkörper einen Hohlraum in den Boden, der dann als Form für den herzustellenden Rohrstrang dient. Die Rohrformung erfolgt während der Fahrt unmittelbar hinter dem sich langsam vorwärts bewegenden Maulwurfkörper. Hierzu wird eine mäßig feuchte Betonmischung verarbeitet, die über einen im

Maulwurfkörper drehbar gelagerten Dorn zum Rohr gepreßt wird. Die Heranführung der fertigen Betonmasse erfolgt durch eine hinter dem Schwert angebrachte Schüttelrinne, die größte Sicherheit gegen Verstopfungen bietet und eine ständige Vorratshaltung über der Rohrformvorrichtung ermöglicht, was zur Ausfüllung etwaiger zusätzlicher Hohlräume notwendig ist.

Die Betonmischung ist so zusammengesetzt, daß sehr poröse, aber doch genügend feste und widerstandsfähige Rohre entstehen. Jeder Beton ist mehr oder weniger porös, wenn nicht besondere Vorkehrungen getroffen werden, um ihn vollständig dicht zu machen. Werden nun aus dem zur Verwendung kommenden Sand zuvor die feinkörnigen Bestandteile abgesiebt, so wird der Beton entsprechend poröser, weil jetzt das feinkörnige Material fehlt, das bei einem normalen Beton die Poren mehr oder weniger stark verstopft. Diese Methode der Herstellung porösen Betons ist jedenfalls viel billiger und einfacher als die mitunter empfohlene Verwendung von porösen Zuschlagstoffen, von Bimssand, Schlacke oder gewissen Salzen. Sie hat außerdem den großen Vorzug, daß sie überall und mit jedem

Sand ausgeführt werden kann. Indem der Sand stets die gleiche Siebmaschine passieren muß, wird eine weitgehende Standardisierung und Gleichwertigkeit des Rohrmaterials erzielt.

Um die Rohre trotz der gewollten starken Porosität doch genügend fest zu machen, wird das Mischungsverhältnis entsprechend enger gewählt. Auch ist sorgfältig zu untersuchen, welche Zementart zweckmäßig zu verwenden ist. Wenn mit kohlensäurehaltigem oder stark saurem Wasser zu rechnen ist, so muß statt des sonst üblichen Portlandzements Hochofenzement oder Tonerdeschmelzzement verarbeitet werden, die beide im Gegensatz zum Portlandzement keinen Kalküberschuß aufweisen und darum widerstandsfähiger sind.

Die Herstellung der fertigen Betonmischung erfolgt automatisch auf der Maschine, die mit einer Betonmischvorrichtung, mit Sand- und Zementbunkern sowie einem Wassertank ausgerüstet ist. Mit einer Füllung der Bunker können etwa 300 m Rohr geformt werden. Das Nachfüllen der Bunker kann nötigenfalls während der Fahrt erfolgen.

Die Arbeitsgeschwindigkeit des Rohrpfluges beträgt 4 m pro Minute. Um diese geringe Geschwindigkeit zu erzielen, haben wir uns bei früheren, kleineren Pflugmodellen durch Seilzug geholfen. Es hat sich jedoch herausgestellt, daß der Seilzug nicht nur sehr unhandlich, sondern auch nachteilig für die Qualität der hergestellten Rohre ist. Das Zugseil besitzt nämlich eine beträchtliche Federwirkung, die beim Auftreten von Widerständen im Boden einen ungleichmäßigen Gang des Pfluges begünstigt, wodurch Fehler im Rohr entstehen.

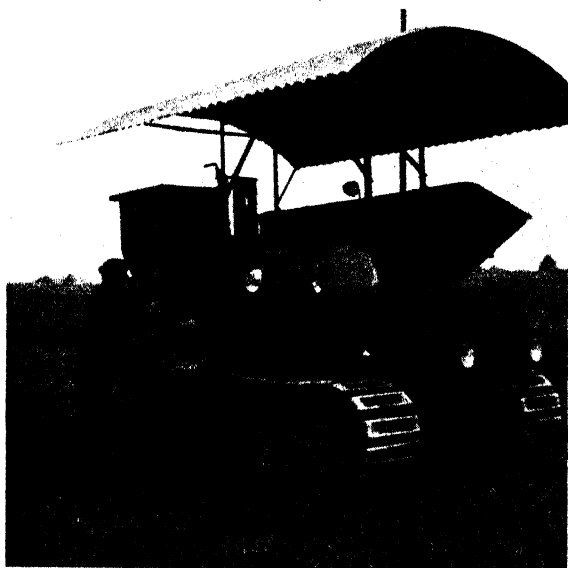


Abb. 2: Rohrpflug «Tubator», Seitenansicht.

Da es eine andere Zugvorrichtung für die erforderliche geringe Geschwindigkeit handelsüblich nicht gibt, der Rohrpflug selbst auch möglichst schwer gebaut werden mußte, um ihm die nötige Stetigkeit der Bewegung zu geben, so lag es nahe, ihn auf Raupenfahrgestell zu montieren und selbstfahrend zu machen, um die Fahrgeschwindigkeit

ganz nach Bedarf einrichten zu können. Diese Maßnahme hat sich sehr bewährt, zumal auch die Antriebe für die Betonmischanlage, die Rohrformvorrichtung und das Schwerthubwerk nunmehr in einfachster Weise mit dem Fahrtrieb gekuppelt werden konnten.

Die mit der Maschine im Boden hergestellten Rohrstränge entsprechen durchaus der weiter oben näher begründeten Forderung nach möglichst inniger Verbindung der porösen Rohrwandungen mit dem umgebenden gewachsenen Boden. Da sich die Betonmasse bei der Verformung eng an die Wandungen des durch den Maulwurfkörper in den Boden gepreßten Hohlkanals anschmiegt, wird ein denkbar günstiger Anschluß an das Kapillarsystem des gewachsenen Bodens geschaffen.



Abb. 3: Maschinengeformter Rohrstrang in situ.

Abb. 3 zeigt einen mit der Maschine im Boden geformten Rohrstrang in seiner ursprünglichen Lage. Um die einwandfreie Ausformung zu zeigen, ist er teilweise freigelegt worden.

Unsere Untergrund-Bewässerungsversuche sind sämtlich mit Anlagen ausgeführt worden, die mit der Maschine, wenn auch mit verschiedenen Modellen hergestellt worden waren. Die Versuche dienten vor allem dem Zweck, die Wirkung auf den Pflanzenertrag zu studieren. Doch wurden daneben auch Untersuchungen über die Verteilung des Wassers im Boden durchgeführt.

Um die Wasserverteilung im Boden möglichst genau zu erfassen, sind Wassergehaltsbestimmungen an Proben ausgeführt worden, die in regelmäßigem Verband aus dem ganzen Bodenprofil entnommen worden waren.

stimmungen an Proben ausgeführt worden, die in regelmäßigem Verband aus dem ganzen Bodenprofil entnommen worden waren.

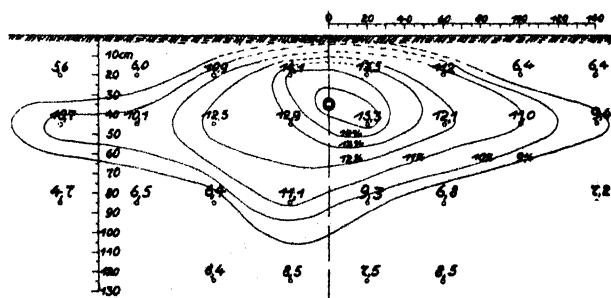


Abb. 4: Wasserverteilung im Boden.

Abb. 4 zeigt ein in dieser Weise untersuchtes Bodenprofil. In der Mitte des Bildes erkennt man den Bewässerungsstrang im Querschnitt, und beiderseits sind an sämtlichen Entnahmestellen der Bodenproben die im Laboratorium ermittelten Wassergehalte vermerkt. Die Zonen gleichen Wassergehalts sind durch Kurven markiert.

Wie zu erwarten war, findet sich in der Nähe des Rohres der höchste Wassergehalt. Im übrigen hat sich das Wasser in ganz typischer Weise vor allem nach den Seiten hin ausgebreitet, während Verluste durch Versickerung gar nicht eingetreten sein dürften, und auch Verdunstungsverluste sind wohl nur unmittelbar über dem Rohrstrang erfolgt, wo das Wasser bis zur Oberfläche aufgestiegen ist.

Die hier dargestellte Aufmessung entspricht durchaus der idealen Wasserverteilung, wie wir sie mit der Untergrundbewässerung anstreben, und damit ist gleichzeitig der Beweis erbracht, daß wir mit dem beschriebenen Verfahren der technischen Durchbildung der Untergrundbewässerung auf dem richtigen Wege sind.

Wenn somit die technischen Voraussetzungen für die praktische Anwendung der Untergrundbewässerung geschaffen sind, dann bleibt nur noch zu prüfen, ob auch der zu erwartende wirtschaftliche Erfolg die Anwendung der Untergrundbewässerung rechtfertigt. Der wirtschaftliche Erfolg ist abhängig von der Höhe der Anlage- und Betriebskosten, die aus dem Erlös der Mehrerträge mindestens gedeckt werden müssen. Solange man auf die kostspielige Verwendung der von Hand zu verlegenden Rohre angewiesen war, konnte eine Wirtschaftlichkeit nicht erzielt werden, weil die Anlagekosten viel zu hoch waren. Die in der Fabrik gefertigten Rohre müssen zum Verwendungsort transportiert werden, es müssen Gräben ausgehoben, die Rohre sehr sorgfältig verlegt, die Fugen gedichtet und schließlich die Gräben wieder verfüllt werden. Es ist einleuchtend, daß eine Maschine, die alle diese Arbeiten von der Rohrformung bis zur fertigen Verlegung in einem einzigen Arbeitsgang ausführt, sehr viel wirtschaftlicher arbeitet, was sich so auswirkt, daß die Gestehungskosten für den laufenden Meter des fertig verlegten Rohrstranges bei Maschinenarbeit nur noch 0,10—0,15 RM betragen.

Dadurch sind für die Einführung der Untergrundbewässerung in die Praxis ganz neue und sehr günstige Voraussetzungen geschaffen worden, zumal die Ausbreitung der Untergrundbewässerung bisher vor allem an den hohen Anlagekosten gescheitert ist. Daß andererseits die mit der Untergrundbewässerung erzielbare Ertragssteigerung sehr befriedigend sein würde, war von vornherein anzunehmen und ist durch verschiedene Versuche auch eindeutig bewiesen worden. Hier ist wiederum besonders auf die wertvollen Arbeiten von *J. Bordas* und *G. Mathieu*, Avignon, zu verweisen.

Die Bewässerungswirkung ist ganz allgemein natürlich um so größer, je trockener und wärmer das Klima ist, und darum sind auch mit der Untergrundbewässerung die günstigsten Ergebnisse in den ariden Gebieten erzielt worden. Dort dürfte die Untergrundbewässerung allen anderen Bewässerungsverfahren überlegen sein, weil sie die sparsamste Verwertung des Wassers gestattet, weil die gefürchtete Versalzung des Bodens und die Verkrustung der Oberfläche vermie-

den wird und weil schließlich die Ausbreitung von Pflanzenkrankheiten gehemmt und die Fruchtbildung gerade der anspruchvollsten Kulturen durch die Untergrundbewässerung besonders gefördert wird.

Aber auch im kühleren Klima Mitteldeutschlands, wo auch ohne künstliche Bewässerung gute Ernten erzielt werden, können die Erträge durch Untergrundbewässerung noch beträchtlich gesteigert werden, wie unsere Versuche gezeigt haben, deren Ergebnisse in Tab. 1—4 wiedergegeben sind.

*Probstheide 1933.*

Fruchtart	Unbewässert dz/ha	Berechnet dz/ha	Untergrund- bewässert dz/ha
Kartoffeln (spät bewässert, reichliche Niederschläge!) . . . . .	299,1	372,7	365,5
Markstammkohl . . . . .	729,1	790,9	825,5
Runkelrüben . . . . .	579,5	759,8	1025,9

Tabelle 1

*Probstheide 1934.*

Rübensorte	Wurzelgewicht dz/ha		Mehrertrag durch Untergrundbewässerung	
	Unbewässert	Bewässert	dz/ha	in %
Krehdener «M» . . . . .	530,3	899,5	369,3	70
Kirsches Ideal . . . . .	429,9	635,0	205,1	48
Kirsches Koloß . . . . .	564,0	710,8	146,8	26
Eckendorfer Gelb . . . . .	451,4	860,7	409,3	91
Criewener Gelb . . . . .	557,1	972,2	415,1	74
Kirsches Ideal . . . . .	438,6	851,1	412,5	94
Strynö . . . . .	373,1	722,0	348,9	94
Mettes Gelb . . . . .	490,1	1056,6	566,5	115
Mettes Rot . . . . .	480,1	1068,2	588,1	123
Friedrichswerther Zuckerwalze . . . . .	351,9	567,3	215,4	61
Kirsches Ideal . . . . .	423,6	797,2	373,6	88
Jaensches Ovana . . . . .	424,9	552,5	127,6	30
Mohrenweisers Veni- vidi-vici . . . . .	422,8	632,4	209,6	49
Zuckerrübe E . . . . .	268,7	341,4	72,7	27

Tabelle 2

Futterrübenenerträge von mehr als 1000 dz/ha, wie sie 1933 und 1934 (Tab. 1 und 2) mit der Untergrundbewässerung bei normaler Düngung erzielt worden sind, werden in Deutschland sonst nur auf Abwasserrieselfeldern erreicht.

*Lichterfelde 1936. Landw. Versuchsstation des Deutschen Kalisyndikats.*

	Kartoffeln kg/150 m <sup>2</sup>	Stärke		Mehrertrag durch Untergrunds- bewässerung in %	
		%	kg	Kartoffeln	Stärke
Unbewässert . . . . .	286,5	13,6	39	100	100
Untergrundbewässert . .	490,0	15,3	75	171	192,3

*Probstheida 1936.*

Fruchtart	Unbewässert	Untergrundbewässert
Kartoffeln:		
Knollen . . . . .	293,0 dz/ha	364,0 dz/ha
Stärke . . . . .	12,2% = 35,7 dz/ha	13,1% = 47,7 dz/ha
Mais:		
Kolben . . . . .	54,0 dz/ha	87,7 dz/ha
Stroh . . . . .	128,0 dz/ha	159,0 dz/ha
Futtermüben . . . . .	581,6 dz/ha	780,6 dz/ha

Im Sommer des Jahres 1936 sind ziemlich reichliche Niederschläge gefallen, so daß die Bewässerungserfolge etwas geringer gewesen sind. Immerhin ist bemerkenswert, daß in beiden Versuchen außer einer Steigerung des Knollenertrages (Tab. 3 und 4) auch ein höherer Stärkegehalt bei den untergrundbewässerten Kartoffeln festgestellt worden ist. Bei der Oberflächenbewässerung, insbesondere der Beregnung rechnet man im allgemeinen mit einem leichten Absinken des Stärkegehalts der bewässerten Kartoffeln, und wenn künftige Untersuchungen die Beobachtung bestätigen sollten, daß dies bei der Untergrundbewässerung nicht der Fall ist, so würde das beweisen, daß das neue Verfahren der Untergrundbewässerung pflanzenphysiologisch richtiger und zweckmäßiger ist als die in Deutschland vielfach übliche künstliche Beregnung.

Die bisher vorliegenden Ergebnisse berechtigen jedenfalls dazu, die Untergrundbewässerung als eine wertvolle Erweiterung unserer Bewässerungstechnik zu bezeichnen, und es ist zu wünschen, daß recht bald in allen Ländern möglichst viel neue Anlagen geschaffen werden, damit die Erfahrungen über die zweckmäßigste Anwendung der Untergrundbewässerung ausgebaut und gefestigt werden können.



### 33. Notes complémentaires sur l'irrigation souterraine

Par

M. Gaston Mathieu, Chef de Travaux à la Station Agronomique  
d'Avignon, France.

Les notes qui suivent ont pour but d'indiquer l'influence de l'irrigation souterraine sur le sol:

1<sup>o</sup> Quant au mouvement et à la répartition des sels entre les différentes couches du terrain.

2<sup>o</sup> Quant à la perméabilité du sol pour l'eau.

Ces observations expliquent, dans une certaine mesure, les heureux résultats que nous avons enregistrés avec l'irrigation souterraine dans les cultures maraîchères de Provence.

#### *Première note. Influence du mode d'irrigation sur le mouvement des sels et leur répartition dans le sol.*

L'eau fournie à un sol par voie superficielle circule de haut en bas et, en règle générale, provoque un lessivage des horizons supérieurs. Au contraire, avec l'irrigation souterraine, l'eau circule de bas en haut, par ascension capillaire, et tend à accumuler les sels dans la couche superficielle du sol. Ces deux phénomènes paraissent évidents a priori, avec une importance variable suivant les cas. C'est ainsi, par exemple, que dans le cas extrême d'irrigation exagérée par inondation, on arrive à lessiver et appauvrir considérablement les terrains perméables, par une véritable podsolisation artificielle, c'est l'«irrigation à mort» (Risler et Wery).

Dans un autre cas, en apposition complète avec le précédent, M. G. Chevalier, Chef du Service agrologique de l'Algérie, a rendu compte d'un essai d'irrigation souterraine avec eau salée et en sol salé, qui montre à quel point ce système est susceptible de concentrer les sels à la surface du sol.<sup>1)</sup> Les conditions de ces essais étaient les suivantes:

Sol contenant 2 g de NaCl %.

Eau contenant 5 g 8 d'extrait par litre dont 2 g 7 de NaCl.

Climat du Sud-Algérien.

Plante cultivée = Palmier-dattier.

A la vérité, ces conditions sont telles que l'on est étonné d'une pareille expérience.

<sup>1)</sup> G. Chevalier: Comparaison de l'irrigation superficielle et de l'irrigation souterraine dans le Sud-Algérien, C. R. Ac. Agriculture de France, 15 mai 1935.

Après deux années d'irrigation la salure de la couche superficielle avait crû dans des proportions considérables, passant de 2 g NaCl % à 16,4, rendant le terrain impropre à la végétation. Parallèlement, une parcelle voisine avait été soumise à l'irrigation superficielle et la salure avait légèrement diminué par lessivage, pendant la période correspondante.

En conséquence, M. G. Chevalier concluait :

«1<sup>o</sup> Que l'application de l'irrigation souterraine aux régions de terres salées ou d'eaux saumâtres (Algérie, Camargue, etc.), risquerait d'amener rapidement la salure des terres et la rétrogradation des cultures.

2<sup>o</sup> Que l'irrigation superficielle, au contraire, lorsqu'elle est rationnellement appliquée et complétée d'un système de drainage approprié, doit réaliser à la fois une alimentation satisfaisante des végétaux et, du fait de la circulation de l'eau par descensus, un lessivage des terres avec entraînement du salant. En outre, ces eaux superficielles aérées sont infiniment préférables à celles de l'irrigation souterraine qui sont sous notre climat chaud souvant le siège de phénomènes de réduction (odeur spéciale des oasis mal drainées) toujours nuisibles aux végétaux.»

Nous tenons à faire remarquer :

1<sup>o</sup> Que le cas relaté est tout à fait particulier et que si l'on dispose d'eau douce, on peut très bien employer l'irrigation souterraine suivie de drainage pour dessaler les sols, comme cela a été fait avec succès dans le delta de l'Aude (méthode par injection).

2<sup>o</sup> Que, en dehors de ce cas particulier, les essais effectués en Afrique du Nord, avec irrigation souterraine à l'eau douce, ont été couronnées de succès. En particulier, nous avons eu récemment connaissance des résultats excellents obtenus en Algérie par M. Verce, ingénieur agricole, actuellement directeur du Centre Expérimental du Merle, près Salon (Bouches-du-Rhône).

#### *Répartition des nitrates dans le sol.*

Dans un sol normal de culture maraîchère de Provence (champ d'expériences de la Station Agronomique d'Avignon) en irriguant avec de l'eau douce de la nappe phréatique (pompage) nous avons étudié la répartition des nitrates dans le sol, suivant que l'on utilise l'irrigation souterraine ou l'irrigation superficielle.

Nous donnons, à titre d'exemple, les résultats suivants :

#### *Azote nitrique en mg par kg de terre sèche.*

Profondeurs 14 Mai	Irrigation souterraine		Irrigation superficielle	
	Témoin	500 kg de nitrate de chaux par ha	Témoin	500 kg de nitrate de chaux par ha
0—15 cm	18	25	10	11
15—30 cm	20	24	16	19
30—45 cm	14	22	5	16
45—60 cm	10	16	5	5

Par le tableau précédent, on voit nettement l'influence du mode d'irrigation sur la répartition des nitrates dans le sol. Il est facile d'en déduire les conséquences dans l'alimentation des plantes et d'expliquer, au moins en partie, les différences de rendements à la récolte.

*Deuxième Note. Influence du mode d'irrigation sur la perméabilité du sol en place.*

Nous avons noté précédemment la remontée des sels sous l'influence de l'irrigation souterraine et leur descente par l'arrosage superficiel. Les eaux que nous utilisons pour ces essais étant riches en sels de chaux (400 mg d'extrait dont 300 de sels de chaux) il nous a paru que l'enrichissement de la surface en sels de chaux devait avoir une influence sur la structure du sol et par suite sur sa perméabilité. De plus, l'irrigation superficielle détruisant la structure par voie mécanique, contrairement à l'irrigation souterraine, il était à prévoir que ces facteurs agiraient également sur la perméabilité du sol. D'ailleurs nous avons constaté à plusieurs reprises que les pluies violentes d'été s'infiltraient plus vite dans le sol des parcelles irriguées par voie souterraine. Nous avons procédé à des mesures en place avec le cercle de M. Carrier et nous avons obtenu les résultats suivants:

Hauteurs d'eau infiltrées par heure en cm; moyennes de 4 déterminations.

1<sup>o</sup> Sol soumis depuis 5 ans à l'irrigation souterraine 6,3

2<sup>o</sup> Même sol soumis à l'irrigation superficielle . . . 1,6

D'après ces chiffres, nous voyons que la perméabilité est 4 fois plus grande pour le sol soumis à l'irrigation souterraine. D'après l'échelle classique, le terrain n<sup>o</sup> 1 serait considéré comme perméable et le n<sup>o</sup> 2 comme peu perméable.

Nous pouvons donc conclure que le mode d'irrigation intervient de façon importante dans la perméabilité des sols, son action pouvant être rapportée à des effets physico-chimiques (concentration de sels calciques en surface et influence sur la structure en irrigation souterraine) et mécaniques, destruction mécanique de la structure par les apports d'eau superficiels.

Nous avons essayé enfin de décèler ces différences de structure au moyen de la sonde. Mais l'appareil que nous avons utilisé, une sonde à percussion, était trop grossier, aussi n'avons-nous obtenu que des résultats discordants.

## **V. Einwirkung der kulturtechnischen Maßnahmen auf die Bewegung der Salze im Boden**

### **L'influence des travaux d'amélioration du sol sur le mouvement des sels dans le sol**

### **Effect of land amelioration measures on the movement of salts in the soil**

#### **34. Irrigated lands require drainage**

By

*L. T. Jessup*, Drainage Engineer, Washington, U. S. A.

In the artificial application of water to soils for crop production the annual rate of application often exceeds the combined annual rate of evapo-transpiration and natural drainage. This excess results in a rise of the water table with consequent injury to soil and crops by water-logging and concentration of harmful salts called alkali. The removal of excess water and alkali by means of drainage systems has been necessary on most irrigation projects and will be required on many future developments. The last irrigation census covering the Western United States showed that of the twenty million acres irrigated, drainage systems had been installed on nearly four million acres and that an additional area of over one million acres needed drainage.

Irrigated lands requiring drainage may be divided into three classes: (1) those injured by excess water only; (2) those having an excess of alkali only; and (3) those affected by excess of both water and alkali. The first class is least extensive and drainage methods are more or less similar to those employed in the more humid sections of the Mississippi Valley. Much of the low-lying lands bordering Great Salt Lake is an example of the second class where virgin soil is so impregnated with harmful salts as to be non-productive until they have been removed. The majority of affected areas come under the third class, and on numerous projects the water table has risen over 50 feet as a result of irrigation losses.

The term „alkali” as used here refers to any soluble salts sufficiently concentrated to injure plants, and includes various combinations of sodium, magnesium, calcium and potassium with chlorides, sulphates, carbonates, bicarbonates and nitrates. The more common salts are sodium chloride, sulphate and carbonate and one of these three generally predominates. In a few valleys sodium nitrate exists in excess, and in rarer instances serious damage by salts of borax and barium have been noted. The toxicity of these salts to plants varies with soil types and moisture conditions, but in addition carbonate of soda has a corrosive action on vegetable matter and a puddling effect on the soil, seriously decreasing its friability and permeability.

When, following long-continued irrigation, the water table has approached sufficiently near the surface to permit capillary rise to the surface, the accumulation of salts in the surface soil begins and this manner of concentration accounts for most of the area affected by alkali in the irrigated sections of the West.

Many irrigation project managements have been careless and negligent with regard to transmission and application of water, but the ideal is scarcely attainable and in fact has not been very well defined. Losses in transmission systems can and should be reduced, but usually it is not economical to eliminate them completely. Where water is cheap and plentiful surface waste from farms has been excessive and better irrigation methods need to be encouraged. The prevention of losses by deep percolation during the application of water is not always economical or desirable, since all waters contain some salts which if not carried down beyond the root zone may slowly accumulate there.

The drainage of irrigated lands affected by alkali differs in several essential features from methods used elsewhere. Early drainage systems in the West were closely spaced at a depth of about 4 feet, but these did not lead to permanent reclamation because the water table was not held at a depth sufficient to prevent accumulation of alkali by capillary action. In very permeable soils where large amounts of water are available the depth to water may not need to be much beyond 4 or 5 feet. A depth of from 5 to 6 feet is necessary for average conditions and a greater depth is required for fine-grained soils. The depth of drains must necessarily be greater than the depth to which it is desirable to maintain the water table. Main outlet systems having an average depth of 10 to 15 feet are now not uncommon.

The source of the damaging water and the nature of the underground formation are factors in the location of drains. Intercepting drains are sometimes successful at the foot of steeper slopes or where the ground water is moving over a dense layer of subsoil. In many cases topography dictates the location of main drainage systems. Areas of land comparatively level and having a homogeneous subsoil have been reclaimed with drains located with some regularity from 440 to 1320 feet apart. Such systems generally use closed drains. If the subsoil consists of coarse sand or gravel, deep open drains spaced a half-mile or more apart are used.

The required capacity of drains varies with many factors such as soil, topography, amount of water applied, etc. Data brought together by the writer covering over a million acres of irrigated lands tributary to drainage systems gave the following average results in terms of acre-feet per acre per annum:

Irrigation water diverted . . . .	5,21
Irrigation water delivered . . . .	3,27
Precipitation . . . . .	0,74
Drainage run-off . . . . .	1,84

The total annual amount discharged by drains in percent of water diverted plus precipitation varied from 13 in one district to 81 in another, and the average figure for all was 30,9 percent.

The maximum average monthly rate of discharge varied from 1,2 second-feet per square mile and 0,2 second-foot per linear mile of drain on areas with dense subsoil to over 8 second-feet per square mile and 20 second-feet per linear mile of drain in gravel formations.

All the figures given above include surface waste which may be from 10 to 40 percent of the discharge. Among other things, these figures indicate a too-lavish use of water.

Any drainage system must have a sufficient capacity to cause a general lowering of the water table and drains should reach into a rather free water-bearing stratum; however, this is not always possible. In the Salt River and San Joaquin Valleys soils difficult to drain by gravity systems have been reclaimed by pumping from wells. Three conditions are essential to the success of this method:

- (1) There must be some connection between the soil water near the surface and the permeable water-bearing stratum reached by the well.

- (2) The cost of power must be low.

- (3) The water developed must have some value.

Drainage wells vary in depth from less than 100 feet to considerably over 200 feet while the pumping lift varies from about 25 to over 50 feet. Wells are spaced from one-quarter to 1 mile apart. Most of the projects using this method pay only approximately 1 cent per kilowatt hour for electrical power, and the water developed, which may have a rather high saline content, is diluted with other water and used or sold for irrigation purposes.

The reclamation of alkali lands presents problems in soil physics and chemistry as well as engineering. While the installation of a drainage system is almost always a necessary condition to permanent reclamation it is not generally a sufficient condition. Lowering the water table does not in itself remove the excess salts. The design of a drainage system should never be undertaken without both a careful study of the soil and groundwater conditions. Where the soil is permeable alkali may be readily leached out by copious applications of irrigation water, but with tight subsoil formations and soils in which the replaceable bases are high in sodium rather than calcium such removal is a difficult and expensive undertaking. The application of chemicals or manure may be helpful in some cases. Irrigation by flooding and the selection of resistant crops are necessary. Any area

having heavy clay subsoil or underlain by hardpan presents a difficult drainage problem, and where sodium carbonate is present under such conditions no economically-feasible method of reclamation has been found.

Numerous drainage systems have been installed by drainage districts especially created for the purpose and under some conditions the organization of such districts is justifiable, but usually it is not. In general the construction of a drainage system, the levying of assessments for cost, financing, operation and maintenance can best be handled by the irrigation district. Moreover, drainage districts are never organized until after the damage has been done, while the irrigation district from its inception can and should plan on the need for drainage and by carefully watching the water table prevent damage by timely construction and the enforcement of careful use of water. While the problems connected with reclaiming land already damaged need to be met, much more attention should be given to the prevention of the further spread of damage caused by alkali than has been given it in the past. Usually it can be prevented, and the cost of prevention is much less than the cost of reclamation after the damage has been done. The history of reclamation in the West indicates that too many irrigation projects have been initiated upon the optimistic assumption that drainage will never be needed; but history also shows that such assumptions are usually unfounded.

## 35. Effect of land amelioration measures on the movement of salts in the soil

By

*Colin A. Taylor*, Associate Irrigation Engineer, Washington,  
U. S. A.

The intent in this paper is to discuss a phase of the subject which affects infiltration and percolation and the influence these factors may have on leaching of salts. Data were obtained in a study of irrigation practices in citrus orchards of southern California.

Most orchards in this area are planted in soil of alluvial origin. The valleys of southern California have been filled to great depths by alluvium brought down by intermittent stream flow from adjacent watersheds which, for the most part, are granitic. The earlier plantings in the years following 1880 were set out on alluvium occupying the bench land adjacent to present stream channels. This older alluvium has been weathered to some extent so that the top soil may be underlain by a somewhat more compact subsoil of varying thickness. This subsoil may contain a considerable percentage of colloidal clay at depths of two to five feet, and rests on the more or less unaltered original alluvium.

Later, plantings were made on areas laid down by recent stream action. The soils in these areas of recent alluvium do not have a tight subsoil but are of extremely variable composition. Stream flow in southern California is intermittent and meandering flood flows have deposited an assortment of coarser material in lenses, pockets, and channel fills interspersed at random through the typical sandy loam orchard soils. The laying of a pipe line of the Metropolitan aqueduct has afforded an excellent opportunity to obtain a cross-section of the soil profile, one of the 12-foot diameter distribution pipe lines being laid in a ditch 17 feet deep across the main valley of southern California. The most widely distributed soil type in the orchard areas is sandy loam having a moisture holding capacity of approximately 15 percent.

The climate is semiarid with rainfall concentrated in the winter months, while the summers are practically rainless. The mean annual rainfall at Pomona is 19,6 inches. Opportunity for transpiration is indicated by a record from a shallow-black-pan evaporimeter at Pomona (1).<sup>1)</sup> The mean annual evaporation for the five-year period 1932—1936 was 72,3 inches. The seasonal distribution of rain and evaporation is shown by Table 1.

<sup>1)</sup> Numbers in parenthesis identify references at the end of this paper.



*Irrigation Season May to October (1,93 inches of rain and 48,28 inches of evaporation)*

	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June
Rain . . . .	3,83	3,93	3,63	1,58	0,74	0,12
Evaporation.	2,80	3,17	5,26	6,17	7,87	8,50
	July	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.
Rain . . . .	0,01	0,02	0,22	0,82	1,46	3,21
Evaporation.	10,17	9,40	7,19	5,15	4,19	2,46

Table 1. Mean monthly rainfall and evaporation at Pomona, California.

The xerophytic type of vegetation which occupied the area before crops were introduced is of a deep-rooting character. By the end of the long rainless summers, this type of vegetative cover reduces the moisture content of the soil to the ultimate wilting point, to depths of six feet or more (2), (3), (4). Thus there would be a deep reservoir of dry soil at the beginning of each rainy season which would be replenished with moisture during the winter months, to various depths depending on the season. Then the tendency was toward a single annual cycle of moisture conditions within the deep root zone ranging from an extreme degree of dryness each fall to a condition of full moisture holding capacity in the spring. After the brush was removed for cropping with winter grain and grain-hay the soil would not be dried out to as great a depth, but the tendency was for the same cycle to persist. Summer weed growth which appeared after the spring harvests extracted the deeper moisture below the reach of grass roots.

The development of and extension of irrigation in this area has been concurrent with the development of the citrus industry. Citrus has been introduced on areas previously dry-farmed and, in many cases, land has been cleared of native chaparral and immediately planted to citrus. The advent of irrigated citrus crops has caused a radical change in soil moisture conditions, thereby influencing the movement of salt in the soil.

Cultural practices have varied greatly during the past 40 years. On relatively flat land, where large heads of water can be used, some method of flooding with borders or a combination of cross-furrows and borders has proved successful. Straight-furrow irrigation has also been widely used as it is particularly adapted to land with a slope of one foot per 100 feet or more. The number of furrows to a tree row varies from two per row to as many as seven per row. When the furrows are so far apart that the penetration outlines do not meet between adjacent furrows there is a tendency for salts to accumulate between furrows. The larger number of furrows gives a better distribution of salts. Water is not necessarily applied in every furrow at each irrigation. It may be applied in alternate furrows, in alternate groups of furrows, or even between alternate tree rows.

Furrows were once made deep with the idea of reducing losses by evaporation. Belief in the necessity of this practice was proven to be erroneous, and since 1922 the depth of furrows has been decreased so that furrows four inches deep are now in common use. The early practice was to plow under cover crops and manure. The development of the off-set disk harrow since 1926 has changed this practice so that shallow disking is now the method generally used. Prior to 1922, it was believed that frequent cultivation during the irrigation season was necessary to conserve moisture. In many orchards the soil was cultivated when wet and sometimes harrowed as often as five times between irrigations. At present cultivation for water conservation is limited to the control of weeds. Furrows are left open for two or more irrigations and the soil cultivated only after weed growth has developed so that it offers competition to the trees. Cultivation of wet soil is avoided as much as possible.

While improvements have been made in the soil tilth, the bad practice of previous years has left its mark. The cultivated parts of the orchards have been compacted and are less absorptive to water than uncultivated areas under the trees. The compacted soil condition tends to persist as the soil in citrus orchards is never heaved by frost action.

Cultivation for control of weeds can be deferred until the soil is dry enough to avoid compacting. However, certain other cultural operations cannot be controlled as readily. Picking, firing, and spraying operations must go on and are often done when the soil is wet. Hence it is inevitable that the central part of each tree lane will be more compact and less absorptive than areas under trees. A survey has been made to determine the extent to which soil has been compacted and the effect on its infiltration capacity.

One of the problems encountered was that of establishing a measure of the original condition of the soil for comparison with present conditions. The method finally chosen for the survey was patterned after the system devised by Dr. *Hans Jenny* of the University of California. The density of the compacted soil is determined from the energy required to drive a standard soil tube into the soil to certain depths.

In citrus orchards small areas along each tree row adjacent to the tree trunks have been left untouched by the ordinary cultural operations. Tests were taken in these areas along the tree lines, 3 feet distant from the trunks of the trees, and these were used as representative of the original condition of the soil prior to orchard cultural operations. Comparisons were then made with the cultivated areas. All tests were made in February and March 1937, when the soil was uniformly moist from rains. A sample of the results obtained from over 4000 tests is given in Table 2. An inspection of this table shows that the structure of the soil in the cultivated area has been altered considerably. The degree of variation from the controls is greatest immediately under the soil stirred by cultivation. Where heavily loaded vehicles have been moved through the orchard shortly after rains or irrigation, soil structure has been altered 1.5 feet below the surface.

Orchard	Location	Foot-pounds required to drive soil tube through zone (multiply by 10)				
		Zone				
		0,0-0,3 ft.	0,3-0,6 ft.	0,6-0,9 ft.	0,9-1,2 ft.	1,2-1,5 ft.
Orchard A . .	No. 1—4 (Ave)	4	10	8	7	9
	Control	2	2	4	5	6
Orchard B . .	No. 1—4 (Ave)	2	2	5	4	3
	Control	1	2	2	3	3
Orchard C . .	No. 1—4 (Ave)	5	14	15	12	8
	Control	2	2	4	5	7
Orchard D . .	No. 1—4 (Ave)	3	9	13	12	11
	Control	6	9	7	7	10
Orchard E . .	No. 1—4 (Ave)	2	2	5	6	6
	Control	1	1	1	2	2
Orchard F . .	No. 1—4 (Ave)	5	8	8	7	13
	Control	1	3	3	2	5
Orchard G . .	No. 1—4 (Ave)	3	6	7	3	2
	Control	2	2	5	7	4
Orchard H . .	No. 1—4 (Ave)	2	5	7	5	6
	Control	2	3	2	2	3
Orchard I . .	No. 1—4 (Ave)	4	8	6	6	7
	Control	1	2	4	5	4
Orchard J . .	No. 1—4 (Ave)	4	12	12	13	11
	Control	1	3	8	11	10
Orchard K . .	No. 1—4 (Ave)	6	17	13	10	14
	Control	2	2	8	8	5
Orchard L . .	No. 1—4 (Ave)	3	7	10	13	12
	Control	2	3	5	7	11
Orchard M . .	No. 1—4 (Ave)	4	11	20	23	20
	Control	3	6	9	10	15
Average for all locations in cultivated areas . . . . .		3,6	8,6	9,9	9,3	9,4
Average for controls . . . . .		2,0	3,1	4,8	5,7	6,5

Table 2. Degree to which orchard soils have been compacted by cultural operations as measured by resistance to penetration of soil tube.

After the soil structure has been altered to the degree indicated in Table 2, a uniform penetration of irrigation water is not easily attained. These extreme variations in density modify the infiltration capacity of the soil to a great extent and measurements of the in-

filtration of water from different furrows show wide variations. The absorption of water in furrows in different orchards is given in Table 3.

The method used to obtain these data was to place calibrated V-notch weirs in furrows at various locations and determine the absorption for measured lengths of furrows. The values obtained are expressed as equivalent inches of water absorbed over the area defined by the width of the furrow spacing and the length along the furrows between points of measurements.

Orchard No.	Moisture holding capacity of soil Percent	Average time water was kept in furrows Hours	Average absorption in equivalent inches of depth over wetted areas Inches
1	15	24	10,7
3	12	60	8,6
4	14	24	8,5
7	8	17	5,9
8	12	3	5,3
12	10	8	3,7
15	14	10	1,3

Table 3. Average absorption of water from irrigation furrows in citrus orchards expressed as equivalent inches in depth over the wetted area.

A detailed record is given in Table 4 for an orchard receiving a copious irrigation, and a record for an orchard receiving a more sparing application of water is given in Table 5. In each orchard four furrows are used per row and furrows number 2 and number 3 are in the central traffic lane while furrows number 1 and number 4 are closer to tree rows. The effect of cultural operations has been to compact the soil to various degrees, and the influence on infiltration capacity is apparent from these tables. The furrows in the central traffic lanes are less absorptive than those closer to tree rows.

In mature orchards the furrows remain in approximately the same position for all irrigations. Furrows which have the lower infiltration capacities do not absorb enough water to penetrate through the root zone. Those having the higher infiltration capacities absorb so much water that a considerable portion of it percolates below the root zone, carrying the dissolved constituents of the soil solution along with it.

A study of these data shows that uniform leaching of the soil in citrus orchards by applying irrigation water in furrows is a difficult problem. However, the amount and seasonal distribution of rain is such that in most of the citrus areas soil solution is displaced downward out of the top two or three feet of soil each winter. Hence the gradual accumulation of salts in the soil from irrigation water tends to be below these depths. Nevertheless, portions of many orchards have the soil compacted to such an extent that there is run-off during the major storms which normally supply rain water for leaching.

Row number	Furrow number			
	1	2	3	4
	Inches	Inches	Inches	Inches
2	7,5	6,6	8,0	12,5
3	17,0	8,5	5,2	12,9
6	8,0	9,4	6,3	15,3
10	9,9	7,3	1,9	9,4
11	17,6	15,3	11,1	11,1
15	9,6	9,7	7,8	10,6
Average	11,6	9,5	6,7	12,0

Table 4. Absorption of water from irrigation furrows in an orange orchard expressed as equivalent inches in depth over the wetted area. Orchard No. 1. November irrigation, 1936.

Row number	Furrow number			
	1	2	3	4
	Inches	Inches	Inches	Inches
18	3,8	3,7	3,3	3,6
20	4,6	1,9	4,0	5,3
25	2,6	2,0	1,8	3,8
Average	3,7	2,5	3,0	4,2

Table 5. Absorption of water from irrigation furrows in an orange orchard expressed as equivalent inches in depth over the wetted area. Orchard No. 12, October irrigation, 1936.

The concentration of the soil solution must inevitably build up under these conditions even though the irrigation water used is of good quality. Thus cultural practices incident to the improvement of land have an important effect on the movement of salts in the soil.

#### References.

1. *Blaney, H. F.*: Water losses under natural conditions from wet areas in southern California. State of California Division of Water Resources, Department of Public Works, Bul. No. 44, 1933, pp. 97—99.
2. *Taylor, C. A.*: Transpiration- and evaporation-losses from areas of native vegetation. Transactions American Geophysical Union, Part II, 1934, pp. 554—559.
3. *Taylor, C. A., Blaney, H. F. and McLaughlin, W. W.*: The wilting range in certain soils and the ultimate wilting-point. Transactions American Geophysical Union, Part II, 1934, pp. 436—443.
4. *Blaney, H. F., Taylor, C. A. and Young, A. A.*: Rainfall penetration and consumptive use of water in Santa Ana River Valley and Coastal Plain. State of California Division of Water Resources, Department of Public Works, Bul. No. 33, 1930.

# **VI. Einteilung der Moorböden**

## **Classification des sols tourbeux**

### **Classification of peat soils**

#### **36. Zur Frage der Einteilung und Untersuchung der Moore in der Tschechoslowakischen Republik**

Von

Dr. J. Spirhanzl, Prag, Tschechoslowakei.

Nach den neuesten Grundsätzen, die für die ČSR von der Moorkommission des Verbandes der Landwirtschaftlichen Versuchsanstalten in der Tschechoslowakei<sup>1)</sup> angenommen wurden, wird bei uns folgende Definition des *Torfes* anerkannt: «Der Torf ist eine organische Erdart, welche über 50% brennbarer Stoffe enthält, aus Pflanzenresten besteht, durch den Prozeß der Vertorfung (Ulmifikation) entstanden ist und eine charakteristische Lagerung aufweist.»

Die bodenkundliche Klassifikation *Dokutschajevs* (1886) reiht das Moor in den Typus der normalen Sumpfböden; *Sibirzev* (1901) zählt sie zum intrazonalen Typus, welcher stellenweise in den Verhältnissen auftritt, wenn lokale bodenbildende Faktoren (hier das Geländere relief, Wasserregime und Pflanzendecke) über den Einfluß des Klimas der gegebenen klimatischen Zone dominieren. *Kossowitsch* (1916) betrachtet die Moore als genetisch untergeordnete Böden und reiht die Hoch wie auch die Niedermoores in die IX. Gruppe der Sumpfböden in der Podsolzone, *Vilenskij* ordnet sie unter die hydrogenen Böden der kalten Zonen. Die Definition der Moore nach den tschechoslowakischen Grundsätzen lautet: «Moore sind Lagerstätten des Torfes mit einer Mächtigkeit der Torfschichte von mindestens 50 cm bei einer zusammenhängenden Ausdehnung von mindestens 0,5 ha. Zum eigentlichen Moor (Moorkern) gehören auch die mit ihm zusammenhängenden Randflächen (Moorhöfe) mit einer Tiefe der Torfschichte von 50—20 cm. Im Begriff der Moore sind auch die Lagerstätten der

---

<sup>1)</sup> Vereint sämtliche Moorfachleute und Institutionen in der ČSR.

«begrabenen» Torfe inbegriffen, d. h. jene, die mit einer Schichte von anorganischen Mineralerden überdeckt sind.» Es versteht sich, daß vom naturwissenschaftlichen Gesichtspunkt als Moore auch die typischen Vorkommen von kleinerer Ausdehnung und geringerer Mächtigkeit der Torfschichte bezeichnet werden können.

Von weiteren tschechoslowakischen Definitionen führe ich an: «Der *Moorboden* ist ein Bodentypus im bodenkundlichen Sinne (siehe oben). Ein typisches Merkmal des Profiles ist hier die Unregelmäßigkeit der Horizontenfolge, welche zwar durch eine organische Erdart (verschiedene Torfarten) gebildet werden, aber sich nicht nach den Gesetzen der Klimazonalität unterscheiden. Der *anmoorige Boden* ist im Grunde ein seichtes Moor, am häufigsten ein Übergang vom eigentlichen Moor zum anorganischen Boden; die Torfschichte erreicht hier nur eine Mächtigkeit unter 50 cm, so daß sie beim Ackern meist mit dem mineralischen Untergrund vermischt wird. Er erfordert eine besondere Bearbeitung. Die *Moorerde* ist eine mit Torfhumus stark durchmischte Erdart oder ein stark erdiger Torf, in welchem die anorganischen Stoffe über 50% Trockengewicht betragen; der Torfanteil verlor gewöhnlich schon seine Struktur, ist stark zersetzt und die erdige Beimischung kann makroskopisch leicht festgestellt werden.» Im Gartenbau wird als *Moorerde* ein aus altkultivierten Lagen bakteriell schon tätiger und für die Gartenbauzwecke vorbereiteter Torf bezeichnet.

Die Tschechoslowakei besitzt zwar keine großen Moorflächen, denn es handelt sich hauptsächlich nur um Kleinmoore und nicht zusammenhängende Moorgruppen, aber nachdem ihr größter Teil in den Grenzgebirgen und Quellgebieten der Flüsse liegt, ist die Aufmerksamkeit, welche den Mooren gewidmet wird, berechtigt. Außerdem ist der stark entwickelte Gartenbau und die Landwirtschaft überhaupt ein bedeutender Konsument des Torfes, der zu diesem Zweck aus dem Ausland in großen Mengen eingeführt wurde. Eine *statistische Übersicht* über die Ausdehnung der tschechoslowakischen Moore gibt die folgende Tafel:

Land	Hochmoore ha	Niederungs- moore ha	Übergangs- moore ha	Summe ha
Böhmen . . . . .	8 000	4 000	13 000	25 000
Mähren-Schlesien .	400	1 000	600	2 000
Slowakei . . . . .	500	2 000	500	3 000
Karpathenrußland .	100	4 600	300	5 000
ČSR . . . . .	9 000	11 600	14 400	35 000

*Der Untersuchung und Kartierung* der Moore wurde in der Tschechoslowakei das Augenmerk schon im Jahre 1890 zugewandt (Prof. Dr. Fr. Sitenský). Ein bedeutendes Verdienst um die Erforschung und Erkenntnis der Moore hat sich der Deutschösterreichische Moorverein erworben, in welchem damals auch die tschechoslowakischen

Moorfachleute vertreten waren. Im Jahre 1899 wurde die Moorversuchsstation in Sebastiansberg im Erzgebirge errichtet und im Jahre 1903 eine weitere Station in Zalsi in Südböhmen (aufgelöst im Jahre 1928, wird aber im Jahre 1937 im Nachbarort Borkovice erneuert werden). Nach der Errichtung des selbständigen Staates der ČSR waren hier also schon gewisse Grundlagen vorhanden, auf denen das tschechoslowakische Moorwesen weiterbauen konnte. Ein neuer Impuls dazu wurde im Jahre 1934 durch die Errichtung der Moorkommission beim Verband der landwirtschaftlichen Versuchsanstalten in der ČSR gegeben, welche die Moorfragen für die tschechoslowakischen Verhältnisse studiert und systematisch löst. Sie hat die Grundsätze für die Erforschung und Kartierung der Moore ausgearbeitet, arbeitet an den Methoden der Torfanalysen, an der Fachterminologie, veranstaltet Versuche der Anwendung des Torfes in der Landwirtschaft und bereitet ein Moorgesetz (zur Regelung der Moorausnützung, der Abtorfung und des Moorschutzes) in der ČSR vor.

Nach den angenommenen Richtlinien für die Erforschung und *Kartierung* der Moore in der ČSR wird das Flächenausmaß des Moores festgestellt, soweit dies der schon angeführten Definition entspricht, weiter wird die Mächtigkeit durch Sondierung ermittelt und danach die Moorprofile und ein Bild der Konfiguration des Untergrundes mit den entsprechenden Höhenangaben entworfen. Es ist mindestens in zwei senkrecht zueinander verlaufenden Profilen zu messen. Die Lage des Moores wird in eine Karte eingetragen, am besten in eine solche im Maßstab 1 : 25 000. Auch werden die Wasserverhältnisse in den Bohrlöchern nach 24 Stunden, weiter die Quellabflüsse und die Schwankung ihrer Wassermenge untersucht. Ferner wird das Gestein des Untergrundes und der Umgebung festgestellt, weiter werden die vegetationskundlichen Verhältnisse ermittelt, eine generelle und eine Detailbeschreibung der Pflanzendecke nach den Methoden der Pflanzensoziologie durchgeführt und schließlich auch besondere Eingriffe (Entwässerung und Auffuhr mineralischer Erde) und landwirtschaftliche Beobachtungen (Spätfröste, Zeit der Saat, Fruchtfolge etc.) vermerkt. Falls schon Torf gewonnen wurde, werden Einzelheiten nach besonderer Anleitung verzeichnet. Zur Identifizierung der Moorpflanzen, sowie zur Klassifikation des Torfes und des Moores werden Torfmuster aus verschiedenen Schichten entnommen.

Für die *Einteilung der Moore* empfiehlt die ČSR die alte, einfachste Teilung beizubehalten, und zwar:

1. *Hochmoore* (Moos-, Heidemoore, französisch tourbières de pente, holländisch Hoogveen, schwedisch hvitmossar, polnisch torfy wododziałowe, russisch mochowoje boloto, tschechisch vrchoviště), welche hauptsächlich durch die Tätigkeit der Sphagnummoose entstehen. Sie entsprechen den *Weberschen* «oligotrophen» Mooren, welche an Nährstoffen ganz arm sind. Weil ihre Bildung durch die Luftfeuchtigkeit beeinflusst wird, kann man sie nach *v. Post*<sup>1)</sup> zu den «ombrogenen» Mooren zählen. Sie können als «supraaquatisch» bezeichnet werden, denn sie bilden sich überwiegend unter dem Einfluß

<sup>1)</sup> von *Post*, L.: Einige Aufgaben der regionalen Moorforschung, 1926.



der klimatischen Bedingungen unter Mitwirkung des Untergrundwassers.

Die Hochmoore können *nach dem Grad der Vegetationstätigkeit* weiter geteilt werden.

2. *Niederungsmoore* (Grünlands-, Tal-, Flach-, Wiesenmoore, franz. tourbières de vallées, dänisch Kjaermoser, polnisch torfy nizinne, russisch nizinnoje boloto, tschechisch slatiny), welche durch das Verwachsen der stehenden oder langsam fließenden Gewässer entstehen. Nach *Weber* können sie als «eutroph», reich an Nährstoffen, bezeichnet werden. Nach *v. Post* gehören sie zu den «topogenen» Mooren, die sich an den für die Bildung des Torfes topographisch geeigneten Stellen bilden. Sie gehören in die Gruppe der «infraaquatischen» Moore, welche sich unter dem Wasserniveau zu bilden beginnen, und deren weitere Entwicklung durch das Oberflächenwasser bedingt wird. Die Bildung des Torfes ist hier eben vom Grundwasser abhängig (die Riedgräser — Cyperaceae — und andere Niedermoorpflanzenarten bilden den Torf nur unter dem Einfluß der stetigen Nässe), welches auch während der Sommermonate seicht unter der Oberfläche sich erhalten und die größte Zeit des Jahres über dem Moor stehen muß.

3. *Übergangsmoore* (Mischmoore, polnisch torfy przejściowe, russisch perechodnoje boloto, tschechisch rašeliniště prechodové), welche durch die Hochmoor- und Niedermoorvegetation gebildet werden. *Weber* nennt sie «mesotrophe», mäßig mit Nährstoffen versorgte.

Zur Präzisierung der Klassifikation und zur eindeutigen Festlegung des Begriffes kann man in den eingeführten Gruppen die Moore weiter teilen.

A. Nach der Bildungsstätte im Terrain nach *Schreiber*<sup>1)</sup> in:

1. *Seemoore*, welche durch das Verwachsen der Seen, besonders eiszeitlichen Ursprunges, entstanden und nicht von den atmosphärischen Niederschlägen abhängig sind.

2. *Naßbodenmoore* (Muldenmoore) an nassen Stellen, in Niederungen und Ebenen, unter Voraussetzung von größeren Niederschlägen.

3. *Talmoore* in breiten Tälern unter steilen Abhängen, wo durch Flußablagerungen das Ufer erhöht wurde.

4. *Talstufenmoore* an den Terrassen, welche in den Tälern durch Moränen gebildet wurden.

5. *Hangmoore* an quellenreichen Abhängen. Häufige Niederschläge unterstützen ihre Entwicklung.

6. *Kammmoore* auf Gebirgskämmen in seichten Sätteln; ihr Abfluß ist beidseitig.

7. *Flußmoore* entstehen durch Verwachsen der alten Flußarme und Bäche, besonders in Niederungen.

Die Abarten 1., 3., 5. und 7. gehören im allgemeinen zu den topogenen, die Abarten 2. und 6. zu den ombrogenen Mooren.

B. Da jedes von diesen Mooren aus den Überresten verschiedener Moorgewächse gebildet werden kann, ist es für die Identifizierung

<sup>1)</sup> *Schreiber, II.*: Moorkunde, Parey, Berlin 1927.



# **Beilage zur Abhandlung Nr. 36**

von Dr. *J. Spirhanzl*



[illegible]



seiner stratigraphischen Elemente wichtig, die Moore weiter mit einem *botanischen Namen* zu bezeichnen. Es handelt sich eher um die Bezeichnung der *Torfart*, wozu sich gut die Teilung nach *Weber*<sup>1)</sup> eignet, die wir in der am Schluß des Bandes beigefügten Tabelle der Torfarten anführen.

C. Nach den *klimatischen Zeilen*, in welchen sich die Moore entwickelt haben, kann man auch nach den Entstehungsperioden die Torfschichten als: boreale (älteste), atlantische, subboreale, subatlantische und rezente (jüngste) bezeichnen.

D. Für besondere Zwecke kann man die *Torfarten* auch nach anderen Kriterien unterscheiden, so z. B. nach dem Inhalt an *chemisch wirksamen Stoffen* (Salztorf, Gipstorf, Schwefeltorf, Eisensulfidtorf und ähnliche); sonst kann die Anwendung des Torfes in der *Technik* (Brenntorf, Isolations-, Konservierungs-, Desodorisations- torf etc.) oder *Landwirtschaft* (Streutorf, Gärtnereitorf) und anderes angeführt werden.

<sup>1)</sup> *Weber, C. A.*: Über Torf, Humus und Moor, Bremen 1903.

## 37. Über die Einteilung der Moorböden in Finnland

Von

Dr. *Erkki Kivinen*, Helsinki, Finnland.

In Finnland pflegte man bisher im praktischen Leben die Moorböden in zwei Gruppen einzuteilen: Hochmoore und Niedermoo-re. In letzter Zeit ist man jedoch immer mehr dazu übergegangen, sowohl in der Land- als auch in der Forstwirtschaft eine eingehendere Einteilung zu benutzen. Sie gründet sich auf die botanische Zusammensetzung der Torfe. Danach können folgende Torfartengruppen unterschieden werden. Gleichzeitig wird angegeben, welche von diesen Torfarten zu den Hochmoor- und welche zu den Niedermoo-rtorfen gehören.

Sphagnum-Torf	}	Hochmoortorf
Seggen-Sphagnum-Torf		
Wald-Sphagnum-Torf		
Sphagnum-Seggen-Torf	}	Niedermoo-rtorf
Wald-Seggen-Torf		
Seggen-Torf		
Braunmoos-Seggen-Torf		

Wie aus der Darstellung hervorgeht, sind bei der Klassifizierung keine sogenannten Waldtorfe unterschieden worden, vielmehr wird versucht, die Holzreste enthaltenden Torfe nach Möglichkeit auf Grund der in ihnen neben den Holzresten anzutreffenden Zwischenmasse entweder zu den Wald-Sphagnum- oder Wald-Seggen-Torfen zu gruppieren.

In den NO-Teilen des Landes ist noch sogenannter eutropher Sphagnum-Seggen-Torf anzutreffen. Er enthält außer Seggenresten auch Rückstände von eutraphenten Sphagnum-Arten (*S. Warnstorffii*, *S. teres*, *S. subsecundum* usw.).

Über die Verbreitung der verschiedenen Torfarten sei erwähnt, daß in den S- und SW-Teilen Finnlands hauptsächlich Sphagnum-Torfe anzutreffen sind (Hochmoorgebiet). In den N-Teilen des Landes herrschen die Seggen- und Braunmoos-Seggen-Torfe vor, Sphagnum-Torfe sind dort vorwiegend nur an den Rändern der Moore anzutreffen (Aapamoore). In Mittel- und Ost-Finnland treten die verschiedenen Torfarten durcheinander auf.

Die strukturellen Eigenschaften des Torfes werden gewöhnlich durch *von Posts* Torfschema angegeben.

Über die chemischen Eigenschaften der verschiedenen Torfarten sei angeführt, daß die Sphagnum-Torfe im allgemeinen spärlich Pflanzennährstoffe enthalten und sehr sauer sind, aber mit abnehmen-



dem Anteil der Reste der Sphagnum-Arten und zunehmendem Anteil der Seggen und der Braunmoose an der Torfzusammensetzung wird ihr Pflanzennährstoffgehalt größer und gleichzeitig die Azidität geringer. Als bemerkenswert sei hervorgehoben, daß im Vergleich zu den mitteleuropäischen Torfen die finnischen verhältnismäßig wenig Kalk enthalten. So kann auch bei Seggen- und Braunmoos-Seggen-Torfen der Kalkgehalt sogar geringer als 1% sein, und nur verhältnismäßig selten steigt er über 2% (1) und (3). Besonders die in den mittleren Teilen umfangreicher Moore anzutreffenden Seggen- und Braunmoos-Seggen-Torfe sind kalkarm. Dagegen enthalten derartige an Moor-rändern auftretende Torfe reichlich Kalk.

Der organische Bestandteil der Sphagnum-Torfe enthält in reichlichen Mengen Zellulose und spärlich Protein. Die Seggen- und Braunmoos-Seggen-Torfe dagegen enthalten weniger Zellulose, aber reichlicher Proteine (2). In diesem Zusammenhang kann angeführt werden, daß die Torfe meist schwach humifiziert sind und daß darauf zum Teil die verhältnismäßig langsame Mobilisation des Stickstoffs beruht.

Sehr charakteristisch schwankt das C/N-Verhältnis der verschiedenen Torfarten. Durchschnittlich beträgt diese Verhältniszahl bei den Sphagnum-Torfen 37, bei den Seggen-Sphagnum-Torfen 25, bei den Sphagnum-Seggen-Torfen 23, bei den Seggen-Torfen 19 und bei den Braunmoos-Seggen-Torfen 17. Bei der Vertorfung der Moorpflanzen wie auch bei fortschreitender Humifikation des Torfes nimmt das C/N-Verhältnis sehr rasch ab (1) und (2).

Auf Grund der in den Torfen anzutreffenden Pflanzenreste können die Bestimmungen der Torfarten verhältnismäßig leicht und genau ausgeführt werden. Da auf der anderen Seite gegenwärtig der Pflanzennährstoffgehalt der verschiedenen Torfarten und ihre Eignung für verschiedene Zwecke bekannt ist, so ist die oben dargestellte Torfklassifikation für die Verwendung bei solchen Untersuchungen und Bodenkartierungen gut geeignet, bei denen die Gebrauchsmöglichkeiten der Torfböden verhältnismäßig rasch und für verhältnismäßig große Flächen zu ermitteln sind.

#### *Literatur.*

1. *Kivinen, Erkki*, Untersuchungen über den Gehalt an Pflanzennährstoffen in Moorpflanzen und an ihren Standorten. Acta Agralia Fennica 27, 1933, Helsinki. Finnisch mit deutschem Referat.
2. *Kivinen, Erkki*, Über die organische Zusammensetzung der Torfarten und einiger Torfkonstituenten. Acta Agralia Fennica 31, 1934 und Soil Division of the Central Agr. Exp. Stat., Agrogeolog. Mitteilungen 36, 1934. Helsinki.
3. *Kotilainen, Mauno J.*, Untersuchungen über die Beziehungen zwischen der Pflanzendecke der Moore und der Beschaffenheit besonders der Reaktion des Torfbodens. Wissenschaftl. Veröffentlichungen des Finnischen Moorkulturreins 7, 1927, Helsinki.

## 38. On the principles of the classification, surveying and mapping of peat deposits<sup>1)</sup>

By

Prof. Dr. D. A. Gherassimov, Moscow; U. S. S. R.

1. The main purpose of every classification is to provide the means of quickly forming a judgement — on the ground of a few essential characters — regarding the status and relations of a definite object in nature and in human practice. Perfect definition of the extent and content of the objects classified is necessary for good classification. A comprehensive definition interpretable in a similar manner by all investigators, must correspond to the name of the object.

The present report proposes first of all to render more precise and to delimit the terms and the notions corresponding to these used in scientific study of peat.

With this principle in mind the question regarding the classification of peat deposits is treated in a new way. Agreement in regard to the principal questions of terminology and classification will improve the output and quality of scientific work in countries studying peat deposits, and accelerate theoretical as well as practical progress.

2. It is expedient, both from the theoretical and practical view points, to consider peat, first, as a peat soil and, second, as a geological formation.

*Peat soil* is the surface layer of peat deposits, in which is rooted the contemporary vegetation and in which intense primary processes of the decomposition of vegetable remains take place with a certain access of air. In this layer the essential properties of peat are formed, or are in the process of formation. Peat soil is a soil of a special kind, the parent material of which — vegetable matter — is changing continuously by the process of accumulation of new deposits. The earlier stages of this soil, unlike most mineral soils, are separated spatially and are recorded by the layers of the peat deposit.

The study and classification of contemporary peat soils are based on soil science.

Peat, as a *geological formation*, is a fossil soil, essentially different from the contemporary peat soil. The microbiological processes in the bulk of the deposit are very insignificant and possess, with but

---

<sup>1)</sup> The report is concerned only with peat deposits in the narrower, but generally accepted by most countries (USSR included) significance of the term; peaty soils (with an ash-content exceeding 40 p. c.) and peaty soils (with a layer of peat less than 30 cm thick in a natural moist condition) are not considered here.

rare exceptions, an anaerobic character. Temperature variations of the atmosphere are not felt in the deposit even at a short distance from the surface. Freshly eroded peat from the mass of a deposit cannot serve as a life substrate for plants and re-acquires its productive capacity only after a definite period of contact with air aeration.

The methods of study and principles of classification applied to peat, considered as rock, must be geological.

3. The widely used term „moor” or „bog” (Germ. «Moor»), applied by most investigators in a very vague manner, includes in most cases the notions of both peat deposit and vegetable cover on its surface. The notion of moor or bog should be dismembered, as this has been long since (1913) proposed by the Finnish botanist *Kajander*, and divided into a *biological* (vegetation) and *geological* (deposit) one.

The term „moor” or „bog” should be used in science only in its most general sense, when we deal with a natural entity, which includes the peat deposit, the vegetable cover and the water regime of the peat-massif. It is evident that bogs, as taken in this complex understanding of the term may be classified on the ground of only an extremely small number of general characteristics.

4. It is proposed to use in the science of peat deposits and in practical survey-work the following notions.

*Peat-species* — primary unit of the classification of peat deposits; corresponds to the notion „rock” in petrography. The peat-species is differentiated only when the homogeneity of the peat stratum both in the horizontal and in the vertical directions is sufficiently marked.

*Peat-deposit-species* — suite of peat-species from the surface down to the mineral ground, showing a regular order and thickness of layers.

*Peat-land* (peat-massif) — territory, possessing a peat cover exceeding 30 cm in thickness in an undried condition.<sup>1)</sup> The peat-land consists usually of different deposit species lying side by side.

A separate system of classification must correspond to each of the three enumerated notions.

5. The classification of peat-species must be based on genetic characteristics (*L. von Post*).

The formal principle of definition of a peat according to the nature and mutual relations of the preserved vegetable remains must not be used in future. In its essence such a formal petrographic method of defining peats is not a classification and the number of possible units (species) of peats is rendered indefinitely large by it, since it is determined by the number of the possible combinations of the remains of various peat-forming plants.

In constructing a genetic classification of peats we must take from geology its notion of „facies”, because recent scientific studies

<sup>1)</sup> The thickness of 30 cm (the so-called zero limit of the deposit) is conditional. Such a limit is accepted in U.S.S.R., as well as in a number of other countries, in connection with the agricultural utilization of bogs. For industrial exploitation the limit accepted is 70 cm. On maps of peat-beds both the zero limit and the industrial exploitation limit are marked. Some methods of peat excavation (e. g. hydro-peat extraction) demand a minimal thickness of the deposit of 1.5 m.

(*Gherassimov, Bielikova, Kurbatov, Ruoff*) have demonstrated the primary nature of the formation of the fundamental properties of peat. The second — „diagenetic” — stage has but insignificantly affected the properties of peat.

However, considerable secondary changes are also possible due to the infiltration of mineralized ground-waters into the peat deposit.

The species of peat must be established first of all by comparison with the existing species as regards their soil-vegetable cover („facies”); after microscopical analysis the peat-sample should be classed with one or other species according to the combination of typical and prevalent remains (according to the leading fossils). The units of classification of a higher order (groups, types) are established by characters of a practical or genetic importance — the degree of humification and the content of mineral substances (ash-content).

According to available knowledge, corrections must be introduced (varieties) in the case of diagenetic changes, and of secondary changes determined by external influences (infiltration, removal of soluble substances).

The Peat Institute of the People's Commissariat of Heavy Industries of U. S. S. R. worked out in 1935 a classification of the peats of the Moscow and adjacent regions (*Kalinin, Ivanovo, Gorky*; authors: *Gherassimov, Tiuremnov, Istomina, Ovsiannikova*) and of the Leningrad Region (*Sokolov*). For each peat-species, there have been obtained the average technical characteristics and their limit values, based on the available laboratory analyses.

6. The classification of the *species of deposits* must be based on the principle of the prevalence of some species of peat in the suite of strata, or on a typical alternation of the strata (*Auer, Gherassimov*). The species of deposits are united into groups and types in accordance with the groups and types of peat, of which they are chiefly composed.

Thus the deposit receives its designation from the character of peat-formation prevailing in the history of its deposition.

The classification of the deposit-species of the European part of U. S. S. R. has been worked out by the Peat Institute in 1935/36 (*Tiuremnov, Istomina*).

7. The classification of *peat-lands* (peat-massifs) has as yet not been worked out.

Two principles should be, apparently, used as a basis: a) the deposit-species predominating in it and b) the geomorphological and hydrogeological characters of the stratification of the peat-massif, i. e. the conditions of its water-mineral supply (*L. von Post, Mutiushenko*).

Within the limits of a definite climatic zone peat-lands, according to the more general geomorphological and geological conditions are grouped into regional accumulations (*Meshcheriakov, Matiushenko, Tiuremnov, Lepin*); these accumulations might be named peat-provinces.

8. On the ground of the classification of peat deposits the Peat Institute has elaborated a *method of surveying* peat-lands based on the differentiation of *uniform stratigraphic* plots (corresponding to

the species of deposits). The principle of uniform plots proved quite useful in the peat industry, because uniform stratigraphic plots are simultaneously exploitable plots. The designing of peat utilization is based at present on plans, on which the uniform plots are differentiated.

9. The current task of scientific work in the field of peat-geology is the establishment of the geomorphological and hydrogeological determination of the types of peat-lands and the subsequent mapping of the peat-provinces, with indications regarding the peat-stratigraphic and physico-geographic (climatic, geomorphological and hydrogeological) characteristics of these provinces. This mapping on one hand helps with the planning of power-resources and agricultural areas, and on the other hand will assist in the attainment of theoretical generalizations. Of course, the mapping of peat-provinces in small scale maps must proceed hand in hand with the usual mapping of individual peat-lands in maps of a large scale.



## **VII. Entwässerung und Sackung der Moorböden**

### **L'assainissement et les affaissements des sols tourbeux**

### **Drainage and shrinking of peat soils**

#### **39. Zur Entwässerung der Gebirgsmoore**

Kulturingenieur *Josef Dittrich*, Leiter der Moorversuchsstation  
Sebastiansberg, Tschechoslowakei.

In der geographischen Breite von 50 Grad und darunter ziehen sich in Mitteleuropa die ombrogen und teilweise ombrogen bedingten Moorbildungen in das Bergland zurück, wobei sich der Moorreichtum gegenüber nördlicheren Zonen stark vermindert. Viele, dafür aber verhältnismäßig kleine Moore, sind hier die Regel. So tritt uns die Tschechoslowakei mit ihren rund 36 000 ha Mooren als moorarmes Land entgegen. Und diese finden sich hier, klimatisch bedingt, zur Hälfte in den Randgebieten Böhmens, wo das Klima wenigstens noch einigermaßen atlantisch beeinflusst ist, wie z. B. im Erzgebirge und Böhmerwalde. Die Moornutzung ist hier sehr alt und erstreckt sich, was die Torfgewinnung anbelangt, hauptsächlich auf das Moosmoor<sup>1)</sup> und den Fichtenbruch, den verbreitetsten herzynisch-sudetischen Typus des Übergangsmoores, was die land- und forstwirtschaftliche Moorkultur betrifft, fast gänzlich auf den Fichtenbruch. Nach den Aufnahmen des ehemaligen deutschen Moorvereines in Staab und der Moorversuchsstation Sebastiansberg <sup>2)-4)</sup> befinden sich heute von den Mooren der Randgebiete Böhmens 35% in landwirtschaftlicher (meist Grünland) und 33% in forstlicher (meist Fichtenwald) Kultur. 32 % stellen Ödländereien (einschließlich der Torfstiche) vor.

---

<sup>1)</sup> Siehe Nomenklatur der Moore nach *Hans Schreiber*, Moorkunde, Berlin 1927, Verlag P. Parey.

<sup>2)</sup> *Hans Schreiber*: Die Moore Nordwestböhmens, Prag 1923.

<sup>3)</sup> *Hans Schreiber*: Moore des Böhmerwaldes und des deutschen Südböhmen, Sebastiansberg 1924.

<sup>4)</sup> *Josef Dittrich*: Die Moore Nordostböhmens, Sebastiansberg 1933.

Wie aus dieser kurzen Aufstellung zu ersehen ist, spielt auch hier die Frage der Moorentwässerung eine nicht zu unterschätzende Rolle und waren vorbenannte Einrichtungen, wie Moorverein und Moorversuchsstation, seit jeher gezwungen, sich mit ihr zu befassen. Der Verfasser hatte nun als Mitarbeiter des 1936 verstorbenen, bekannten Moorfachmannes *Hans Schreiber* im Laufe seiner langjährigen Tätigkeit im Moorwesen Gelegenheit, Moorentwässerungen für die verschiedensten Zwecke zu projektieren und auch praktisch durchzuführen.

Wie in allen Fragen der Bodennutzung erscheint es auch hier notwendig, vor Eingang auf den eigentlichen Gegenstand seine naturwissenschaftlichen Grundlagen, wenigstens soweit sie für die Kulturtechnik von Bedeutung sind, zu streifen. Bei seinen kulturtechnischen Arbeiten in Mooren beobachtete der Verfasser<sup>4)</sup> die Wichtigkeit des Gefälles des Mooruntergrundes für die Moorbildung. Je geringer die Seehöhe der Moosmoore (Hochmoore) in den Mittelgebirgen ist, ein desto geringeres Gefälle des Untergrundes war zu ihrer Bildung notwendig. So verzeichnen wir in den Talmooren des Böhmerwaldes in rund 700 m Seehöhe ein durchschnittliches Untergrundgefälle von 3‰, welches sich in Hochlagen auf Gebirgskämmen bis zu 4‰ (Erosionsgrenze) steigern kann. Die Bedeutung des Untergrundgefälles geht bei Moosmooren sogar so weit, daß es für die Verbreitung ihrer kennzeichnenden Vegetationszonen maßgebend ist. So hat z. B. in der heutigen borealen Zeit der Regenerations- oder Wachstumskomplex eines Moosmoores, der an stauende Nässe gebunden ist, meist ein Gefälle von 1‰ und weniger, während die Moorerosion (Erosionskomplex) nur dort auftritt, wo das Untergrundgefälle 3—4‰ beträgt oder gar noch übersteigt. Stillstands- und Wachstumskomplex stehen in der Mitte. Es muß demnach in der vergangenen subatlantischen Zeit (jüngeren Moorstorfzeit) die Wasserversorgung der Moore eine weit bessere gewesen sein als heute, da der Wachstumskomplex von flachen Bergrücken in steilere Randlagen herunterreichte, wo der Torf heute der natürlichen Abtragung (Erosion) anheimfällt.

Weniger Einfluß als auf die Moosmoorbildung hat das Gefälle auf die Bildung des Fichtenbruches (Übergangsmoor), der, ausgesprochene Steillagen ausgenommen, so ziemlich überall zu finden ist, da die Bruchtorfbildung eben nie so große Anforderungen an stauende Nässe stellt wie Moorstorf.

Größere Moore (im Ausmaß von einigen 100 ha) treten in den Mittelgebirgen fast durchweg als Verbindung der zwei genannten Moortypen, des eigentlichen Moosmoores mit dem Fichtenbruch auf. Das Moosmoor bildet mit erhöhter Mitte den Kern, während der Fichtenbruch, niedriger oder auch höher als die Mitte gelegen, sich ringförmig um diesen Moosmoorkern lagert und fast immer ein steileres Untergrundgefälle aufzuweisen hat als der Moosmoorkern.

In der heutigen Zeit des Stillstandes der Moorstorfbildung bzw. Abtragung des Moorstorfes hat die Natur meist schon ihre Entwässerung vorgezeichnet. Die ganz vorwiegend an Stellen mit größerem Untergrundgefälle sich bildenden Rillen entwässern das Moor zuerst oberflächlich und schneiden schließlich auch tiefer in den Torf ein,



wobei das Wasser bis auf den Mooruntergrund absinken kann, stellenweise sogar unterirdisch fließt und die Erscheinung der Untermoorerosion bedingt, die wohl nur in Gebirgsgegenden zu beobachten ist, da sie eben ein größeres Untergrundgefälle voraussetzt, das in der Ebene nicht gegeben ist.

Nach oben Gesagtem besitzen also unsere Gebirgsmoore in den Kammlagen Untergrundgefällsverhältnisse, die von der Moormitte gegen den Rand von mäßigen in steilere übergehen, wobei also das Gefälle förmlich konzentrisch gegen den Moorrund hin zunimmt, was auch bei Sattelmoores zu beobachten ist, bei denen aber das Gefälle oft im umgekehrten Sinn auftritt und der Fichtenbruch sich an die höher gelegenen Hanglagen anschmiegt, also ein Steigen des Untergrundes an Stelle eines Fallens beim Kammoor festzustellen ist.

Es muß gleich eingangs der praktischen Ausführungen über die Entwässerung der Gebirgsmoore als selbstverständlich vorausgesetzt werden, daß auch hier, wie ja bei jeder Moorentwässerung, die Schichtenpläne sowohl der Mooroberfläche als auch des Mooruntergrundes vorliegen müssen, nach welchem Letztgenanntem sich das ganze Entwässerungsnetz auszurichten hat, einzelne Sonderfälle ausgenommen, die mit besonderer Vorsicht zu behandeln sind.

Was die Art der Entwässerung anbelangt, so ist den offenen Gräben gegenüber den gedeckten der Vorzug zu geben, und sind Dränsysteme im kleineren Umfange zu halten als beim mineralischen Boden.

Den vorher geschilderten natürlichen Entwässerungsrinnen, die bei Kammooren gewöhnlich in zwei bis drei verschiedenen Richtungen mit großem Gefälle verlaufen (2—4‰), auszuweichen, hat der Kulturtechniker keinen Grund. Er hat im Gebirge gegen ein Übermaß von Gefälle anzukämpfen und seine erste Sorge muß es sein, das Hauptgrabennetz mit der Masse von Gräben in ein annehmbares Gefälle zu bringen, um dessentwillen er schon einige, sehr steil gehaltene, mit Sohlensicherungen versehene Vorfluter in den Kauf nehmen muß. Diese Sohlensicherungen in Form von Holzschwellen und Schwartelwänden sind meist nur dort notwendig, wo die Grabensohle in den mineralischen Untergrund (meist blaugrauer Lehm) einschneidet. Dieser ist überall leicht auswaschbar und bricht unter der Einwirkung des Wassers in muscheligen Flächen ab. Der Torf wird so unterhöhlt und stürzt nach. Aus diesem Grunde wird auch das Anschneiden des mineralischen Untergrundes, wo nur möglich, vermieden, da auch der Aushub dieses Materiales mit seinen stark steinigen Gemengteilen viel Kosten verursacht. Als Baumaterial in den Moorgräben kommt nur das Holz in Betracht, da es, an Ort und Stelle gewonnen, das billigste vorstellt und auch im stark sauren Torf sich bestens bewährt. Die Sohlenbreite der Vorfluter ist mit rund 1 m zu bemessen. Sie erreichen oft die ganz bedeutende Tiefe von 3 m, da man bestrebt sein muß, wenigstens bei den Vorflutern die starken Sackungserscheinungen unterworfenen Moostorfschichten zu durchschneiden, um im Beisen- (Scheuchzeria-) bzw. Schilf- (Phragmites-) Torf ein festeres Untergrundmaterial zu erreichen. Die genannte Tiefe ergibt sich weiterhin oft auch aus der Forderung nach der Abbau-

möglichkeit stärkerer Moostorfschichten. Die Böschungen der Moorgräben können nun im Moostorf und auch im Bruchtorf (Reste der Fichtenwaldvegetation stark mit Sphagnum untermischt, Übergangsmoortorf) verhältnismäßig steil gehalten werden, eine Böschung 4 : 1 entspricht erfahrungsgemäß vollkommen. Um diese steilen Böschungen bei größeren Grabentiefen nicht doch zu gefährden, ist in 1,5 m Höhe, von der Sohle an gemessen, eine Berme von 1 m Breite einzuschalten, welche sich als praktisch erwiesen hat. Dies ist je nach Grabentiefe bei 1,5 m, 3,0 m und 4,50 m zu wiederholen. Die Gräben können auf diese Weise die ganz beträchtliche obere Breite von mehreren Metern erreichen und sind in diesem Falle durch einfache Einplankungen zu sichern. Es empfiehlt sich, im ersten Baujahr nicht tiefer in das Moor einzuschneiden als 1,5 m, im zweiten bis 3 m usw. zu gehen, da bei zu rascher Entwässerung des Torfes dieser gerne seitlich abreißt und sogenannte «Klüfte» (Erzgebirgsmundart) bildet, die ungefähr parallel zur Grabenböschung laufende Riß- und Rutschflächen vorstellen, natürlich der winterlichen Frosteinwirkung stark ausgesetzt sind und so den Torf in den Graben hinein abrutschen lassen. Dabei ist noch zu bemerken, daß im Mittelgebirge infolge des großen Untergrundgefälles die Entwässerung unvergleichlich rascher und sicherer vor sich geht als im Tieflande, wo bedeutend längere Bauzeiten notwendig sind.

Sind nun diese Vorfluter, deren ein größeres Gebirgsmoor je nach seiner Lage und Ausdehnung 2—3 besitzen kann, in der beschriebenen Weise durchgeführt, so wird an die Ausarbeitung der Nebengräben 1. Ordnung gegangen. Das Steilgefälle und die dadurch verursachte Lage der Vorfluter geben uns nun die Möglichkeit, die große Zahl der Nebengräben 1. Ordnung in ein annehmbares Gefälle (unter 1%) zu bringen, die dabei gewöhnlich die Schichtlinien in recht spitzem Winkel schneiden, also ähnlich den Dränen bei der Methode der Querdränung. Dieser Grabenlage kommt der Vorteil zu statten, daß die vom Berghang oder Kamm herabkommen- den Wasser, die zu Zeiten großer Niederschläge und gelegentlich der Schneeschmelze recht reichlich sein können, diese Gräben 1. Ordnung fast senkrecht treffen, von ihnen aufgenommen werden und so die niedriger gelegenen Moorteile vor weiterer Überflutung schützen. Sie werden nach Möglichkeit parallel zueinander im Abstände von 50 bis 100 m, je nach der Torfart und den Niederschlagsverhältnissen, projektiert und erreichen auch oft ganz bedeutende Tiefen, die bis über 2 m betragen können, je nach dem Zweck, dem die Entwässerung dient. Ihre Sohlenbreite erscheint mit 80 cm als genügend bemessen. Sehr zweckmäßig ist es, das ganze Grabensystem mit Ringgräben (Kopfgräben) zu fassen, die das entwässerte Gelände vor unerwünschtem Wasserzutritt, sowohl plötzlichem durch Überflutungen, als auch ständigem durch Rinnsale, schützen. Die Einmündung der Moorgräben ineinander soll möglichst senkrecht sein, um ein zu starkes Durchfrieren und Abbröckeln des Torfes bei zu spitzem Winkel zu vermeiden.

Das so geschilderte Entwässerungssystem wird in vielen Fällen schon genügen, ergibt sich aber die Notwendigkeit einer stärkeren

Entwässerung, so kann das durch fallweises Einschalten von Gräben 2. Ordnung (Gruppen) leicht geschehen. Diese haben im allgemeinen die Richtung des Vorfluters und stehen ungefähr senkrecht auf den Gräben 1. Ordnung. Das größere Gefälle, das sie auf diese Weise erhalten, spielt bei ihren geringen Abmessungen und den geringen Wassermengen, die sie führen, keine Rolle mehr. Sie besitzen normalerweise bei 60 cm Tiefe eine ebensolche obere Grabenbreite. Der Böschungswinkel 4 : 1 gilt für alle unsere Grabentypen.

Einfacher als bei den eben geschilderten Mooren in Kamm-, Sattel- und Hanglagen gestaltet sich die Entwässerung der Talmoore, die ihren einzigen Vorfluter parallel zum Flußlauf erhalten und deren Gefällsverhältnisse dem Kulturtechniker keinerlei Schwierigkeiten bieten.

Zu erwähnen wäre schließlich noch die Entwässerung mittelst gedeckter Gräben (Dränung), die im Gebirge wohl nur für landwirtschaftliche Zwecke in Betracht kommt. Sie richtet sich in erster Linie nach der Torfart und verlangt bei Moostorf tiefreichende (bis 2 m) und eng nebeneinander liegende Stränge (10–12 m).

Derartig entwässerte Moore befriedigten in den Mittelgebirgen Böhmens vollkommen und zeigten keine Zeichen zu starker Wasserabgabe, wie z. B. Mullwehen. In Ihrer Vegetation verschwand natürlich das Torfmoos vollkommen, im Moosmoor wurde die Heide (*Calluna*) fast allein herrschend.

Diese Moorentwässerung ist nun noch verschiedenen Zwecken anzupassen, wie der Torfnutzung, der landwirtschaftlichen und forstwirtschaftlichen Moorkultur. Was die Torfgewinnung anbelangt, so hat schon *Schreiber* darauf hingewiesen, daß es sehr vorteilhaft ist, wenn das ganze Moor durch die Entwässerungsgräben in rechteckige Tafeln zerlegt werden kann (Nebengräben 1. Ordnung in 50 bis 100 m Entfernung). Dieser Forderung ist bei den starken Gefällsverhältnissen der Gebirgsmoore meist leicht zu entsprechen, zumal es nur selten notwendig ist, den Untergrund zu erreichen, daher das Gefälle meist nach Belieben gewählt werden kann. Derartige rechteckige Tafeln gewähren der Torfwirtschaft eine sehr gute Übersicht, eignen sich sehr gut zum Aufstellen der im Gebirge nun einmal unentbehrlichen Horden (Trockengerüste), sichern eine einfache Gleisanlage der Förderbahnen usw. Nur muß dabei berücksichtigt werden, daß die Stichkanten, also eine Hauptrichtung der Gräben 1. Ordnung, ungefähr senkrecht auf die Hauptwindrichtung zu stehen kommen. Gestochen wird bekanntlich immer «gegen den Wind», die Stichwand hat im Windschatten zu liegen, damit sie bei den eintretenden winterlichen Schneestürmen sofort zugedeckt und vor zu starkem Durchfrieren, das viel Material und Arbeitsverluste mit sich bringt, bewahrt wird.

Nach erfolgter Entnahme des Moostorfes für Streu- und Brennzwecke wird das Grabennetz entsprechend vertieft und ist der nun verbleibende Bruch- bzw. Riedtorf ohne weiteres für forstliche und landwirtschaftliche Kulturzwecke, im letztern Falle natürlich besser gedränt, zu verwenden. Die Entfernung der Gruppen beträgt für landwirtschaftliche Kulturen nicht unter 20 m. Landwirtschaftlich

können alle Torfsorten der Gebirgsmoore genutzt werden, einschließlich des Moostorfes, forstlich nur Bruch- und Riedtorf.

Bei Moorentwässerungen für forstliche Zwecke ist es nach den Erfahrungen der Moorversuchsstation sehr zweckmäßig, das notwendige Material für die auf Moor unentbehrlichen Pflanzhügel in Form des Gruppenaushubes zu gewinnen, der zu diesem Zwecke in Plaggen  $40 \times 60$  cm gestochen wird, und die Anzahl der Gruppen derart zu regeln, daß ihr Aushub gerade für die Pflanzhügel reicht. Dadurch erhalten sie bei 1,4 m Pflanzweite der Fichtensetzlinge eine abwechselnde Entfernung von 4,2 m und 5,6 m.

## 40. Die Kultivierung des „Großen Moosbruches“ in Ostpreußen

Von

Prof. Dr. *Rothe*, Königsberg i. Pr., Deutschland.

Das Große Moosbruch, einschließlich der anliegenden Niederungsmoore in den Kreisen Labiau und Niederung gelegen, hat eine Größe von rund 15 000 ha, wozu noch etwa 2500 ha zu rechnen sind, deren Kultivierung ebenfalls später beabsichtigt wird, so daß es im ganzen 17 500 ha groß ist. Es wird nördlich vom Linkuhnen-Seckenburger Deichverband begrenzt, westlich stößt es bis etwa 6 km an das Kurische Haff vor. Hier liegt das Elchrevier, der Tawellningker Forst, das ans Kurische Haff grenzt. Im Südwesten reicht das Große Moosbruch mit den Dörfern Alt- und Neu-Heidendorf bis etwa 1 km an das Haff heran, von dem es durch den Großen Friedrichsgraben getrennt ist. Östlich kann man als Grenze die Bahn Königsberg-Tilsit zwischen den Stationen Wilhelmsbruch-Heinrichswalde bezeichnen, während es südlich in einzelnen Zungen bis nahe an die Bahn Königsberg-Tilsit heranreicht, die bei der Station Skaigirren eine ost-westliche Richtung einschlägt. Das Moosbruch wird von drei schiffbaren, größeren Flüssen, dem Nemonienstrom, dem Timber und der Laukne, durchströmt. Letztere teilt sich oberhalb in Parwe und Arge, die mit ihren Zuflüssen Budup und Ossa bis in das Gebiet östlich obiger Bahn reichen.

Mit der Besiedlung des Moores wurde etwa in der Mitte des 18. Jahrhunderts begonnen. Der älteste Ort, Alt-Heidlauken (heute etwa 500 Einwohner), wurde im Jahre 1756 gegründet, indem alte Soldaten Friedrichs des Großen je etwa 6 Morgen Land erhielten. Heute befinden sich im Moore etwa 18 dörfliche Siedlungen von 100 bis 700 Einwohnern. Die Gehöfte sind meist etwa 10 Morgen groß und sind bei den dort von der Witterung stets sehr abhängigen landwirtschaftlichen Betrieben und bei dem dort üblichen Kinderreichtum stets eine Sorge des Staates gewesen.

Im Jahre 1920 bereiste der Preußische Ministerpräsident das Gebiet und regte eine Urbarmachung großen Stils an. Schon 1923 war der Tawellningker Polder fertig. Seitdem wird die Urbarmachung planmäßig weiter betrieben.

Schon früher hatte man versucht, das Gebiet vom Haffstau durch eine Schleuse im Nemonienstrom abzuschließen. Diese im Jahre 1909 gebaute Schleuse besteht noch jetzt. Sie hat durch Deiche einen beiderseitig hochwasserfreien Anschluß erhalten. Zwar wird durch sie das Haffhochwasser abgehalten, das Binnenwasser steigt aber dann infolge der Zuflüsse schnell an, so daß der die Schleuse

unterhaltende Nemoniendeichverband (im ganzen etwa 20 000 ha) keinen endgültigen Vorteil hatte. Nur erhielt er jetzt hauptsächlich Binnenwasser, nicht Haffwasser, auf seine Wiesen. Es war also notwendig, noch eine Binnenbedeichung auszuführen.

Bisher sind ohne Schleuse etwa 25 Millionen Reichsmark aufgewendet und von dem Mooradministrator und dem Kulturbauamt II in Königsberg, das die Bedeichungen und die Schöpfwerke ausführte, verbaut worden.

Es sind fertiggestellt die Polder:

Lauknien mit rund . . . . .	763 ha
Tawellningken mit rund . . .	3 344 ha
Obolin mit rund . . . . .	2 305 ha
Wilhelmsbruch mit rund . . .	6 944 ha

zusammen: 13 356 ha.

Es fehlten noch auszuführen der Brandpolder, die Polder Pfeil und Schenkendorf und der Polder Timber einschließlich der Kolonie Elchtal.

Die Schöpfkosten sind in den einzelnen Poldern verschieden. Sie betragen 7–14  $\mathcal{M}$ /ha. Domänenfiskalisch sind in den oben genannten Poldern 4706 ha, für die rund 53 300  $\mathcal{M}$  Schöpfkosten aufzubringen sind. Hierzu kommen noch 0,50  $\mathcal{M}$ /ha als Beitrag für die Nemonienschleuse. Der Fiskus mit rund 7280 ha hierin gelegener Fläche hat hierfür 3640  $\mathcal{M}$  zu zahlen, so daß sich die fiskalischen Gesamtkosten auf  $53\,300 + 3600 =$  rund 57 000  $\mathcal{M}$  belaufen.

Die vom Kulturbauamt in Königsberg ausgeführte Bedeichung der Flußläufe wurde zuerst auf  $\pm 1,80$  m, später auf  $\pm 2,00$  m NN gelegt. Das höchste beobachtete Hochwasser (1889 an der Schleuse in Obolin gemessen) erreichte eine Höhe von  $\pm 1,86$  m.

Zur Zeit befinden sich 12 Schöpfwerke von 0,75–1,5 cbm sekundlicher Leistung im Betriebe. Für die noch fehlenden Polder sind noch etwa 8 Schöpfwerke zu bauen. Alle bestehenden Schöpfwerke haben elektrischen Antrieb mit Zentrifugal- bzw. Schraubensumpfen, mit Ausnahme desjenigen in Marienbruch, welches mit einer Dampfmaschine betrieben wird.

Das Moor besteht zum kleineren Teil aus Hochmoor, zum größeren aus Niedermoor. Zunächst wird in der Hauptsache Niedermoor urbar gemacht. Das Hochmoor muß zunächst gründlich entwässert werden, um das Wasser aus dem Untergrunde herauszubringen. Die Folge davon ist eine Sackung des Hochmoors, die zum Teil bisher 2 m betrug (im Elchtalgebiet) und weiter gehen wird. Infolge der Senkung der Mooroberfläche kann man jetzt über das ganze Hochmoor von der auf mineralischem Boden liegenden Straße Mehlaulen-Lauknien bis zur Kirche in Sussemilken hinwegsehen.

Das Moor wurde gedränt bis auf etwa 150 ha im Oboliner Polder, die mit Gräben in 40 m Entfernung entwässert sind und 400 ha im Tawellningker Polder mit Gräben in 100 m Entfernung.

Es wurden hölzerne Dreiecksdräne angewendet, die sich nach allen bisherigen Erfahrungen gut bewährt haben. Sie liegen im Niedermoor an den Ausmündungen 1,20 m, am oberen Ende etwa 1,00 m tief. Das Material zu allen Dränungen wurde in eigener

Werkstatt in Kupstienen hergestellt. Die Ausmündungen liegen unter Wasser in einem der zahlreichen Stichgräben, die in den Hauptvorfluter münden. 4—6 Sauger wurden dabei zu einem System zusammengefaßt. Das Gefälle ist sehr gering und beträgt nur 0,1—0,2‰. Die Dränung hat sich sehr gut bewährt. Mühe und Kosten macht das Freihalten der Gräben von Unkraut. Die Entfernung der Dräne im Hochmoor beträgt 20 m, im Niederungsmoor 25 m (früher wurden beim Hochmoor 25 m genommen). Im Hochmoor bei dem größeren Gefälle hat man die Absicht, Staukästen einzubauen, die im Mai etwa zugesetzt und erst im Herbst geöffnet werden. Diese Staukästen sind viereckige Holzkästen von 0,4 m Seitenlänge mit einer versetzbaren und herausnehmbaren Zwischenwand. Im Niederungsmoor ist eine Stauung durch die Dränung nicht notwendig. Der Wasserspiegel kann hier mit dem Pumpwerk geregelt werden. Das Wasser wird Ende April bis Anfang Mai 60—80 cm mit dem Hebewerk gesenkt und dann nur nach heftigen Niederschlägen nachgepumpt.

Das Niederungsmoor, das meist mit Erlen und Birken bestanden war, wurde im Herbst gerodet. Nach Durchführung der Dränung wurde es 40—50 cm mit dem Dampfpflug umgebrochen. Dann folgten die Planierungsarbeiten, die mit Maschinen, mit Scheibenegge und Trecker, zuletzt von Hand, ausgeführt wurden. Als Düngung wurden 12 Zentner Thomasmehl und 8 Zentner 40% Kali je ha gegeben. Eine versuchte Düngung mit Stickstoff hatte wenig Zweck und wurde aufgegeben. Eine Kalkdüngung war hier überflüssig, im Gegensatz zum Hochmoor, wo je ha 160 Zentner kohlensaurer Kalk in zwei Gaben gegeben wurden. Die Stickstoffdüngung in Form von etwa 20prozentigem Leunasalpeter beträgt hier 2 Ztr./ha. Der Dünger wurde mit der Scheibenegge eingetellert. Zum Schluß wurde der Boden festgewalzt. Dann folgte die Ansaat. Fast alles wurde ohne Deckfrucht gesät. Nur das wenige Ackerland erhielt sie. Wo Neusiedlungen angelegt wurden, erfolgte die Verteilung von Wiesen und Ackerland so, wie die Wirtschaftslage es erforderte.

Die Siedlungen wurden durchschnittlich 60 Morgen groß angelegt. Dabei wurden zu 40 Morgen Hochmoor 20 Morgen Grünlandmoor gegeben, so daß sich 20 Morgen Ackerland, 20 Morgen Weide und schließlich 20 Morgen Wiese auf Niederungsmoor ergaben. Das Grünland auf Niederungsmoor mußte bis zu 3 km vom Hofe ab zugeteilt werden.

Die reinen Niederungsmoorkolonien, für die Hochmoor nicht verfügbar ist, erhielten rund 14 Morgen Ackerland, 22 Morgen Wiese und 24 Morgen Weide, auf denen 7—8 Stück Vieh ernährt werden können. Die Wiesen bringen 160—250 Ztr./ha Heu. Der Pachtpreis beträgt 120 *RM*/ha. Darin ist auch enthalten der Preis für Düngung (allein rund 46 *RM*) und die Unterhaltung.

Die Unterhaltung der Deiche erfolgt zunächst durch den Staat, der Moortvögte angestellt hat. Später soll die Unterhaltungspflicht der Deiche allerdings auf die Siedler umgelegt werden. Den Aufbau der Gehöfte haben die Siedler auf eigene Kosten zu machen, wobei es Beihilfen gibt. Siedlungsträger ist der Domänenfiskus, Siedlungsbehörde das Kulturamt.

Der Siedler erhält von der deutschen Siedlungsbank ein Darlehen von 2500 *RM*, das wie folgt zu tilgen ist. Der Siedler zahlt 4%, und zwar für eigentliche Verzinsung  $3\frac{5}{8}\%$  und für Tilgung  $\frac{3}{8}\%$ . Ferner erhalten die Siedler durch Vermittlung des Siedlungsträgers ein Darlehen aus dem Grenzlandfonds in Höhe von 2000 *RM*, das nur mit 2% jährlich zu tilgen ist. Außerdem erhalten sie gegebenenfalls eine Beihilfe aus demselben Fonds, für die sie die alten Kolonate abbrechen und das Land (Pachtland) dem Fiskus zur weiteren Benutzung zur Verfügung stellen müssen. Kleinere kultivierte Flächen werden als Anliegersiedlung an die angrenzenden Besitzer verteilt. In der Hauptsache aber wird das Neuland in Rentengütern ausgelegt. Bis zur Durchführung dieser Art der Siedlung wird das zur Verfügung stehende Grünland größtenteils auf dem Polder verpachtet. Eine Kommission, der der Bürgermeister der Ortschaft, Vertreter der Kreisbauernschaft, Vertreter der nationalsozialistischen deutschen Arbeiterpartei angehören, verteilt die in Parzellen eingeteilten Wiesen und setzt den Preis je nach Qualität und Quantität der einzelnen Parzellen entsprechend dem von der Verwaltung geforderten Durchschnittspreis (120 *RM*/ha) fest. Barzahlung wird gefordert.

Bei der Urbarmachung ist, wie oben geschildert, zunächst das Land zu roden, was etwa 50—400 *RM*/ha kostet. Die übrigen Kosten der Urbarmachung, einschließlich Dränung, betragen etwa 500 *RM*, so daß im ganzen 550—900 *RM*/ha zu rechnen sind (einschließlich Einsaat). Der Preis stellt sich somit je Morgen auf zirka 140—225 *RM*. Die Verkaufspreise betragen durchschnittlich um 400 *RM*/ha, so daß der Staat mit einem Verlust rechnen muß, dem die Bildung von Erbhöfen gegenübersteht. Für die Rentengutsbewerber bedeutet dies eine Verzinsung von etwa 18 *RM*/Morgen, so daß zahlreiche, bisher in Not stehende Familien existenzfähig gemacht werden und damit ein weiterer Schritt zur Ernährung des Volkes im eigenen Land getan werden soll.

Die Ankaufskosten stellen sich somit für eine Wirtschaft aus Niederungsmoor von 15 ha, nur das Land gerechnet, auf etwa 6000 *RM*. Der Siedler erhält hierzu ein Baudarlehen von 2500 *RM* wie oben geschildert, so daß er im ganzen mit einem Darlehen von 6000 + 2500 = 8500 *RM* zu rechnen hat. Zu 4% ergibt das eine Zinslast von rund 340 *RM*. Das weitere Baudarlehen von 2000 *RM* ist mit 2% zu tilgen, also mit 40 *RM*, so daß der Siedler 340 + 40 = 380 *RM* jährlich zu zahlen hat. Hierzu kommen später die Deichkosten mit 14 *RM*/ha, d. h. für 15 ha mit 210 *RM*, so daß die Gesamtkosten sich jährlich auf etwa 380 + 210 = 590 oder rund 600 *RM* stellen, das sind je ha 40 *RM* oder auf den Morgen 10 *RM*.

Hochmoorsiedlungen sind zunächst nur vereinzelt angelegt, da das Moor ständig weitersackt, ohne daß der Beharrungszustand bisher eingetreten ist. Die Kosten je Kolonat stellen sich hierbei im Durchschnitt wie folgt:

10 ha Hochmoor zu je 160 <i>RM</i> . . . . .	= 1600 <i>RM</i> ,
dazu 5 ha Niederungsmoor zu je 400 <i>RM</i> . . . . .	= 2000 <i>RM</i> .
Ein Baudarlehen von . . . . .	2500 <i>RM</i> .

Das macht im ganzen: 6100 *RM*,



das heißt, es sind 6100 <i>RM</i> mit 4% zu	
verzinsen, also mit . . . . .	244 <i>RM</i> ,
hierzu kommt 2500 <i>RM</i> Baudarlehen,	
mit 4% zu verzinsen . . . . .	100 <i>RM</i> ,
das Darlehen von 2000 <i>RM</i> mit 2% zu	
tilgen . . . . .	40 <i>RM</i> ,
die Deichkosten für 5 ha Niederungs-	
moor 5 · 14 <i>RM</i> . . . . .	70 <i>RM</i> ,
zusammen:	454 <i>RM</i> ,

das sind also je ha rund 30 *RM* oder je Morgen 7,50 *RM*.

Als Ansaat für das Niederungsmoor hat sich die ursprünglich von der Landwirtschaftskammer in Vorschlag gebrachte Mischung bewährt. Es werden zur Zeit folgende Saattmengen verwendet:

3	kg/ha	<i>Poa pratensis</i>
2,5	»	<i>Festuca pratensis</i>
1,5	»	<i>Phleum pratense</i>
0,5	»	<i>Agrostis alba</i>
0,5	»	<i>Trifolium pratense</i>
0,5	»	<i>Trifolium repens</i>
<hr/>		
8,5	kg/ha.	

Zuweilen wurde auch  $\frac{1}{2}$  kg *Lotus uliginosus* bzw.  $\frac{1}{2}$  kg *Dactylis glomerata* mit angesät. Bemerkt werde noch, daß sich *Phleum pratense* im allgemeinen nicht bewährt hat, da es zuviel Horste bildet, weshalb es vielleicht in Zukunft ganz wegfallen wird.

Auf Hochmoor, das bisher nur wenig in Kultur gebracht worden ist, wurde vorläufig dieselbe Ansaat verwendet.

An Schädlingen machte sich in den Jahren 1935 und 1936 vor allem die Erdeulenraupe bemerkbar. Sie trat in solchen Massen auf, daß sie etwa 80—90 ha vollkommen vernichtete, die umgebrochen, neu gepflügt und neu angesät werden mußten.

Die Arbeiten, welche jetzt etwa 15 Jahre im Gange sind, werden weiter betrieben. Bis das ganze Moosbruch urbar gemacht ist, werden noch etwa 30 Jahre vergehen. Es fehlt vor allem noch der westliche Teil am Timber. Es handelt sich um eine der größten Moorflächen des Reiches, deren Urbarmachung und Besiedlung eine wesentliche Kulturtat darstellt.

# 41. Subsidence of peat land in the Sacramento-San Joaquin delta of California

By

Walter W. Weir, Drainage Engineer,  
University of California, Berkeley, U. S. A.

## *Location of area and character of material.*

The delta of the Sacramento-San Joaquin rivers in central California comprises about 200,000 acres of highly productive organic or peat soils. This area lies inland about 50 miles from the ocean at the confluence of the Sacramento River from the north and the San Joaquin River from the south just above their entrance into the upper end

of San Francisco Bay. The „Delta” is composed of more than 100 separate tracts or islands formed by the several channels of the two rivers and their numerous connecting sloughs (see fig. 1). The entire area lies at an elevation very close to sea level and in its virgin state was subject to inundation at high tide. Water in the surrounding sloughs and channels is fresh except during very low water flow in the rivers or when a large part of the normal flow is diverted for irrigation, at which time it may become slightly saline.

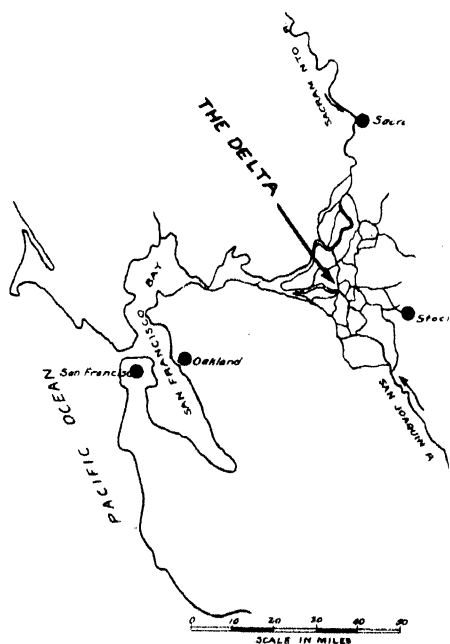


Fig. 1 SKETCH MAP OF SAN FRANCISCO BAY REGION  
SHOWING LOCATION OF SACRAMENTO-SAN JOAQUIN DELTA

Prior to reclamation the islands supported a dense growth of tule (*Scirpus lacustris*) with occasional willows and reeds along the slough banks where the elevations are slightly higher and there is little more sediment in the otherwise highly organic soil.

The peat soils range in depth from a few inches at the border of the area to over 40 feet near the center and western edge. The character of the peaty material throughout its entire depth is very similar to that now on the surface, thus indicating that tule and reeds have been the peat forming material throughout the entire history of the area. No attempt has been made to determine the age of this peat forming period.

### *Crops.*

With only minor exceptions, the entire Delta is now in cultivation and it occupies a very significant place in the agriculture of California. Record yields of a variety of crops are grown. During the past decade the average value of the crops grown in this region has been \$ 25,000,000 a year, or more than \$ 100 an acre a year. Asparagus, potatoes, sugar beets, onions, corn, barley, celery, and many other annual crops are grown in abundance; the first three, however, comprising more than one-half of the total.

### *Drainage and reclamation.*

Drainage or reclamation is accomplished by the construction of dykes or levees surrounding each island which prevent inundation of the land at high tide or during river flood periods. The material for the construction of the levees is dredged from the stream channels and is composed of a mixture of peat and sediment. The channels surrounding the islands are all navigable.

Interior drainage is provided by a series of open canals leading to pumping plants through which the water is discharged over the levee into the streams. Some of the larger islands have more than one pumping unit.

Irrigation is necessary for the growing of most crops as the region receives an annual rainfall of only 12 to 20 inches. Irrigation water is taken from the surrounding sloughs and channels by means of siphons over the levees. At high tide there is sufficient difference in elevation between the water outside and the land surface inside to insure ample irrigation supply by this means. Water is applied to the land through ditches about 10 inches wide and 20 inches deep, spaced at intervals of 50 to 100 feet. Water seeps laterally from these ditches and subirrigates the area.

Immediately following the construction of the levees the land is permitted to dry out as much as possible and during the dormant period when the tules are dry they are set afire and allowed to burn. This fire destroys the tops and the crowns of the tule to a depth of 5 to 10 inches, after which the area is plowed to a depth of 14 to 16 inches. This newly overturned material is composed of coarse fibrous plant remains which must then be worked down into a seed-bed and irrigated. Phenomenal yields are often obtained from such land.

## *Subsidence.*

As farming operations proceed there is a gradual subsidence or lowering of the soil surface. Apparently this subsidence continues indefinitely, at least there is no indication that it has ceased on islands that have been in cultivation for more than 50 years.

Continued subsidence introduces new problems of reclamation, irrigation and drainage, and also raises a question as to the ultimate life of these lands. The following pages will describe briefly a study being made by the University of California to determine the rate of subsidence and the causes, and to call attention to the problems and dangers involved; also if it appears to be a remediable condition to offer suggestions as to possible remedies.

## *Procedure.*

In the spring of 1922, the writer selected a site and determined a procedure for measuring the subsidence of the peat lands of this region. The site selected offered a reasonable variation of conditions in close proximity and was readily accessible (see fig. 2.).

A line approximately 8 miles in length was selected which crosses three islands or tracts, each of different age (by age is meant the

length of time since first reclaimed). Lower Jones Tract was reclaimed in 1902, twenty years before this study began; Bacon Island was reclaimed in 1915, making it seven years old; and Mildred Island was reclaimed in 1921 and was only one-year old at the time this study began.

There was no way in 1922 of accurately determining the elevation of these islands prior to reclamation, as there was none of the original or undisturbed surface left. In fact, the composition of the virgin material is such that it would be very difficult to determine accurately what is the

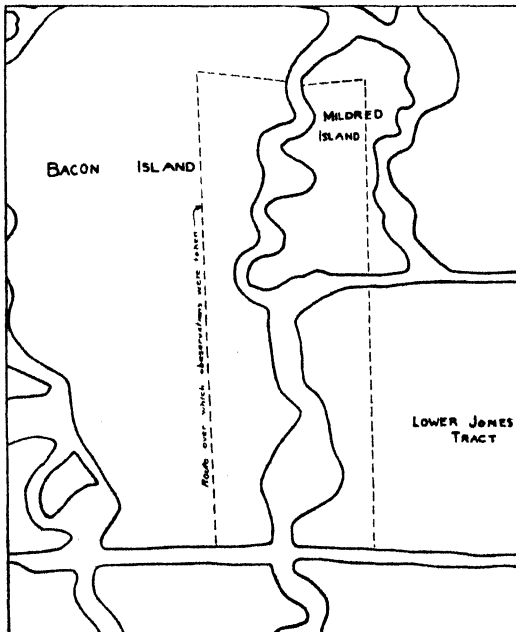


Fig. 2 Location of Subsidence Studies in Delta of Sacramento and San Joaquin Rivers, California.  
Scale in miles

surface. For the purposes of this study, it has been assumed that the original elevation of the three islands was the same, namely sea level (0 feet).

In order to avoid any possible interference with the normal cultural practices, the line over which this survey has been made was not located with precision and no permanent markers established. It was, however, marked by keeping in line with permanent objects such as buildings, power poles, or trees on the levee. The same objects have been used each time that the line was traversed and in most cases the points were within 5 or 10 feet of the true line. Seldom were observations made more than 50 feet from the true line.

Distances along the line were measured with stadia and no attempt was made to have points on successive years coincide with those used previously. Usually elevations were taken at 200 to 400 foot intervals, using an engineer's level for the purpose and reading to the closest  $\frac{1}{100}$  foot. Briefly then, the elevation of the ground surface was obtained annually at 200 to 400 foot intervals within a strip about 20 feet wide and 8 miles long.

With one exception (December, 1923) the levels were obtained during May so that cultural operations were at approximately the same seasonal stage each year. At this season grain is about waist high, potatoes are in various stages from preparing the land for planting to vines 3 or 4 weeks old; corn is just appearing above the surface; and onions, carrots and similar vegetables are partially grown. The planting season for potatoes covers about three months.

In grain fields the surface is relatively firm and smooth, but in the fields being prepared for planting it may be exceedingly rough and loose. One sinks ankle deep while walking across a newly plowed field. The condition of the surface or the crop grown may change 30 to 50 times along the 8 mile route and is never the same in two succeeding years.

In every case, however, an attempt is made to determine the elevation of the surface within  $\frac{1}{100}$  foot at every „turning point” (every second point of observation) and within  $\frac{5}{100}$  foot at „instrument” or intermediate points of observation.

Because of the unstableness of these peat soils, which tremble noticeably for a radius of 25 or more feet when a man walks across the fields, and for a radius of 150 feet or more from moving tillage machinery, it is very difficult to maintain an accurate line of levels over the entire 8 mile course. In fact, a closure of plus or minus  $\frac{1}{10}$  foot is considered entirely satisfactory. In 1927 the closure error exceeded the allowable of  $\frac{3}{10}$  foot and the data were not used. Fortunately, a starting elevation or bench mark which because of its location and construction has remained unchanged is available near the point of beginning of the survey.

After obtaining the elevations along the prescribed line, the data were plotted on profile paper to the nearest  $\frac{1}{100}$  foot on a vertical scale of 1 inch =  $\frac{1}{2}$  foot, and a horizontal scale 1 inch = 500 feet. The points so plotted are connected with straight lines. From the profile line so plotted elevations were taken at 100-foot intervals and tabulated. These elevations are averaged for each of the three islands separately and a single figure giving the elevation to the nearest  $\frac{1}{100}$  foot is obtained for each island. Table 1 gives the elevations which have been so obtained during the past 14 years for each island.

Table 1. Computed elevation of each of three differently-aged tracts of peat land in the Sacramento-San Joaquin Delta, Calif.

Year	Lower Jones Tract 1902 <sup>1)</sup>	Bacon Island 1915 <sup>1)</sup>	Mildred Island 1921 <sup>1)</sup>
1922	5,11 <sup>2)</sup>	3,87 <sup>2)</sup>	2,14 <sup>2)</sup>
1923	5,63	3,99	1,93
1924	5,60	4,27	2,70
1925	5,59	4,24	2,87
1926	5,57	4,21	2,70
1927	—	—	—
1928	6,23	5,23	3,89
1929	6,40	5,27	4,35
1930	6,59	5,22	4,82
1931	7,01	6,07	5,44
1932	7,18	6,48	5,85
1933	7,39	6,51	5,82
1934	7,67	7,02	5,98
1935	—	—	—
1936	7,83	7,59	6,32

<sup>1)</sup> Year in which land was first put in cultivation.

<sup>2)</sup> All elevations are minus (-), i.e. below sea level.

### *Analysis of data.*

These data show that there has been a significant, measurable and progressive lowering of these three islands during the period of observation; that the lowering on Lower Jones Tract, the oldest, has been less during this period than on Mildred Island, which is the youngest. Bacon Island is intermediate both in age and amount of lowering (fig. 3).

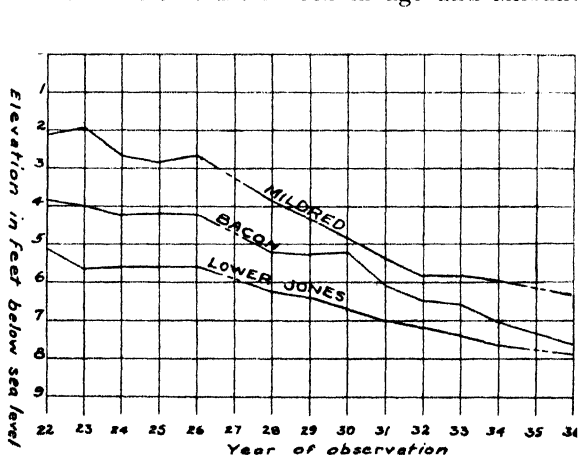


Fig. 3. SURFACE ELEVATIONS OF PEAT SOILS ON SACRAMENTO-SAN JOAQUIN DELTA ISLANDS

From the above data it appears that elevations for any two consecutive years may have no significance, but when taken over the whole period a significant trend is readily observed. It is not apparent that age alone determines the amount or rate of settling. For example, by comparing the elevations for comparable ages it will be

seen that Mildred at 15 years of age (1936) has an elevation of minus 6.32 feet, whereas in 1930 Bacon (then at the same age) had an elevation of approximately minus 5.60 feet. The elevation of Lower Jones at this age is not known. In 1936, Bacon was 21 years old with an elevation of minus 7.59, while in 1923, when Lower Jones was the same age, its elevation was minus 5.63. Whether these variations are due to some factor inherent in the individual island, a cultural practice which differed, or weather conditions differing during the earlier years from those of more recent years, is not known. Lower Jones Tract during the period of this study has been more often planted to barley or corn than has been the case with the other islands. These two crops, especially barley, receive much less cultivation and less frequent irrigation than do crops such as potatoes or onions, which have been the predominant crops on Bacon and Mildred Islands. Although the early cropping history of Lower Jones Tract is not known, it has been a custom in this area to use the new lands for potatoes and as Lower Jones is one of the older islands, there may have been a change in the cropping procedure during recent years.

#### *Causes of subsidence.*

There are probably several causes of subsidence on these islands, among the more important of which are the following:

1. Geological subsidence of the entire area.
2. Compaction by tillage machinery.
3. Shrinkage due to drying.
4. Oxidation.
5. Burning.
6. Wind erosion.

*Geological Subsidence.* As mentioned above, the fact that the entire peat profile to depths of as much as 40 feet is composed of the remains of plants very similar to those which are indigenous at the present time, lends support to the theory that there has been a gradual subsidence of this entire area. Whatever may be the facts in this regard, the native cover of tule was sufficient to maintain the surface of the area at approximately sea level and to prevent any material encroachment of brackish waters from San Francisco Bay. The tule, which is responsible for the major part of this peat deposit, is a fresh water plant. Although no study has been directed toward the determination of the rate of any geological subsidence which may be taking place, it is the opinion of the writer that this has been too slow to be measurable by the methods used in the studies reported here, and may be ignored as having contributed a significant part to the subsidence indicated in figure 3.

*Compaction by farming Equipment.* Until recently the residents of the region have attributed the lowering of these islands to compaction caused by the use of heavy tractors and tillage machinery. Although very heavy tillage equipment is used for plowing and for certain other cultural operations, it is believed that if this was a major

cause of subsidence that it would be reflected in greater density of the soil material, especially near the surface. Such does not seem to be the case. An interesting fact is that at each plowing a layer from one to two inches in thickness of raw, previously undisturbed peat, is brought to the surface. If compaction alone was the cause of subsidence one must conclude that after more than 30 years of cultivation there would have developed a layer of tilled soil of sufficient depth to meet plowing requirements. It is not likely that the depth of plowing has changed much during this period from the current practice of plowing 12 to 14 inches deep. Furthermore, if the turning over of an inch or more of raw material was an objective, it would now, after thirty years, be necessary to plow at least 30 inches deep. The difference in density between the surface soil and the subsoil is not sufficient to account for more than a small part of the subsidence observed. These conditions can lead to no other conclusion than that the surface soil has actually disappeared.

*Shrinkage.* It is common knowledge that organic soils shrink on drying and undoubtedly this is a contributory cause of subsidence in this area. Although the amount of study devoted to this phase of the peat land problem is limited, it is known that shrinkage in the peats of the Sacramento-San Joaquin Delta is not an entirely reversible process. In other words, once having dried out these soils do not regain their original volume on rewetting. There is, however, no time of the year when the peat soils dry out completely or to any great depth. The method of irrigation used in this area (sub-irrigation from shallow, closely spaced ditches) keeps the soil moist to the surface during a large part of the year. Under the conditions which exist in the field, it is very difficult to measure the shrinkage and laboratory experiments cannot duplicate field conditions. Shrinkage by drying has no doubt contributed somewhat to the subsidence of this area but for the reasons given above in the case of compaction, it is not considered as a major cause.

*Oxidation.* As the highly organic soils of the Delta region become dry and are worked into a loose fluffy seedbed, there must be considerable breaking down of the organic material by normal oxidation and bacterial action which would not occur under virgin conditions when the entire mass is saturated. The raw peat which is upturned at each plowing is broken up with cultivation and loses its identity after a year or two. Oxidation may account for a substantial part of the loss occurring in these soils and may be measurable by the methods employed here, if it were possible to separate this from other losses.

Figure 4 shows a house on Lower Jones Tract built upon piling which are driven well into the mineral soil underlying the peat. This house therefore should not be subject to any subsidence occurring in the peat soils which surround it. It will be observed that since the construction of this house twenty or more years ago, the soil surrounding and under it has subsided more than 4 feet. Note the location of the door sill and the additional steps which have been



added in order to reach the bottom of the original stairway. It will also be observed that this house is located near the levee which can be seen on the right. Subsidence under and around this building cannot be attributed to geological subsidence, compaction by heavy machinery or to burning and wind erosion which are discussed below. Shrinkage and oxidation seem to be the logical explanation.



Fig. 4: House on Lower Jones Tract built upon piling. The peat soil surrounding this house has subsided more than 4 feet in about 20 years.

*Burning.* It is a rather widely practiced custom to periodically burn the surface of these soils. Sometimes the burning is accidental but more often it is a deliberate attempt to remove the top 3 to 8 inches of the surface soil. Except possibly for some of the smaller islands, burning does not take place over an entire island at one time, but during the period of these investigations (14 years) probably no part of the islands has escaped being burned at least once. Some portions have been burned as many as three times. Burning may take place in the late fall before the winter rains occur, or in the late spring just before planting time. All of the fields are surrounded by either irrigation or drainage ditches in which some water is allowed to remain and in this way it is possible to confine the burning to specific fields. The depth of burning is controlled by the height of the water table and will probably average about 6 inches although depths of 10 to 12 inches have been observed.

The farmer usually goes over the land with a gasoline torch having a long handle and sets the peat afire at frequent intervals. Peat burns slowly and without flame and these smoldering fires may continue for a week before they burn up all of the dry soil. At the end of this period the water table is raised to the surface and any remaining fires are extinguished.

Burning is practiced mainly for three reasons:

1. removal of weeds, weed seeds and plant diseases and pests,
2. exposure of raw peat, and
3. liberation of potash.

The mild climate, ideal moisture conditions and fertile soil are conducive to heavy growth of weeds which after the crops have been harvested or have reached a growth stage so that they can no longer be cultivated, mature and ripen seed in abundance. After a few years weeds offer serious competition to cultivated crops. Likewise plant diseases, especially those which live over winter in the soil, on unharvested waste, or use weeds as a host plant are especially bad in this area. Burning six or more inches of the top soil apparently destroys these pests and permits replanting in infected areas.

There is a general opinion among the farmers that newly exposed or raw peat is the best medium for plant growth, especially potatoes, and by burning off the top few inches of soil plants may more readily use this newly exposed soil.

The peat soils of this area are somewhat lacking in available potash, an essential element in high potato production. The undecomposed peat contains some potash but since normal oxidation is comparatively slow, it is not liberated so rapidly as it is used by potatoes, especially when planted continuously year after year on the same land. Burning leaves an ash containing available potash and potato yields respond immediately to this procedure.

Potash to an increasing extent is being applied in the form of commercial fertilizer with satisfactory results. Burning for the liberation of plant food therefore does not seem to be justified. Whatever may be the ultimate result of burning, as will be discussed later, or whatever may be the reasons given for following this practice, it is generally recognized by the farmers of the area that potato yields are improved and there is less loss from disease when planted on newly burned areas. Burning is a major cause of subsidence in this area.

*Wind Erosion.* Although wind velocities in the Delta are moderate, there is considerable loss of soil by wind erosion. A breeze from the west is almost a daily occurrence and at certain times of the year is accompanied by an appreciable movement of soil. The extremely light weight of finely pulverized peat makes it easy prey to wind action. Tillage machinery in motion is always accompanied by a dense cloud of dust. Small whirlwinds carrying dust high into the air are visible every afternoon. The ash from burned areas is very light and a moderate wind will pick up this material. Any tillage or cultural practice or natural phenomena which leave the topsoil in a light pulverulent condition is conducive to soil loss by wind. No experiments have been made to determine the magnitude of the loss of soil by wind but conceivably it might reach one-half inch or more a year.

### *Effects of subsidence.*

It is thus apparent from the data here presented that there has been measurable and significant subsidence in the peat soils of the

Sacramento-San Joaquin Delta since their reclamation. There are several causes for this subsidence among which burning, oxidation and wind erosion are the most important.

The lowering of these lands is already attracting attention locally and will without doubt soon become a matter of economic importance. The centers of the islands, being most distant from the surrounding sloughs and less influenced by silt deposits, are composed of peat with very high organic content.

The greater the organic content of the peat the greater the subsidence and as a consequence, the surface of the islands is becoming saucer-shaped. This makes drainage more difficult as the drainage water must be led from the low interior to the base of the levee before it can be pumped into the surrounding sloughs. The pumping lift is therefore becoming greater and the cost of drainage is correspondingly increasing.

The seepage through and under the levees is becoming greater as the differential between the water levels outside and inside the levees increases. This condition also increases the danger of levee failure and the damage which might result if the levees should fail. There has, however, been no major levee failure for nearly 20 years. Continuous and vigilant maintenance of the levee system is the price of this protection. In fig. 4 it will be observed that the living floor of this building was originally built several feet above ground, a precaution against levee failure. As the difference in water level outside and inside the levee increases, the ease with which water may be siphoned over the levee is enhanced but this is not an important matter as water has always been readily available.

The ash remaining after burning is relatively high in alkali salts and continued burning may, and in some cases has, resulted in a sufficiently high concentration of salt to cause plant injury. Unless drainage is always adequate and the water table maintained at a safe depth, evaporation from the surface will tend to increase the alkali concentration on the surface. Such a condition is aggravated by the method of subirrigation. Farmers are now beginning to give more consideration to alkali accumulations and are improving their drainage systems.

Tile drains have not been used extensively in the Delta because, as the farmers say, „they work up to the surface”. This presents a practical problem in drainage which to date has been met only by depending entirely upon open drains which must be deepened as the soil subsides.

If the subsidence continues until the surface reaches an elevation of 20 or more feet below sea level, the difficulties of drainage will be materially increased. It does not appear that subsidence is caused by conditions which are entirely remediable and it is not likely that subsidence will stop until the entire mass of organic soil has been reduced to its mineral content. If one can assume that these islands will continue to subside at the rate in which they have subsided during the past 14 years, their ultimate life can be readily predicted. In the case of Lower Jones Tract, with an average depth of peat of about

15 feet and an average subsidence of about 2 inches a year, the life of the peat should be between 80 and 100 years. It is, however, unsafe to assume that the present rate of subsidence will continue until it has all disappeared. Fortunately, for the future of this valuable agricultural area, the most important cause of subsidence, namely fire, is preventable and undoubtedly this practice will be discontinued. The owners of this land must soon seek other methods of combatting weeds and plant diseases and use commercial fertilizer as a source of plant food. All of the better farms now use commercial fertilizer, yet many of them continue to burn. It is a practice which should be discontinued if the area is to long continue as one of great economic importance.

## 42. Die Abflußverhältnisse und Sackungserscheinungen bei der Entwässerung des Kehdinger Hochmoores

Von

Prof. Dr. Ing. *Ferdinand Zunker*, Breslau, Deutschland.

Untersuchungen über die Abflußverhältnisse und Sackungserscheinungen bei der Entwässerung von Hochmooren liegen vor von *Krüger*,<sup>1)</sup> *Sarauw*,<sup>2)</sup> *Klaus*.<sup>3)</sup> *Krüger* und *Sarauw* haben ihre Beobachtungen um die Jahrhundertwende im *Kehdinger Hochmoor* angestellt, das nordwestlich von Stade zwischen Elbe und Oste liegt, und die Schlußfolgerungen, die sie gezogen haben, sind bis in die jüngste Zeit als maßgebend für Hochmoorentwässerungen angesehen worden. Sie sind jedoch irrig, weil das Auswertungsverfahren falsch war. Da seitdem auch an anderen Stellen Pegelbeobachtungen und Abflußmengenbestimmungen in Vorflutern von Hochmooren durchgeführt worden sind, die zum größten Teil noch der Auswertung harren, und weitere Beobachtungen und Messungen dringend notwendig sind, um die wasserwirtschaftlichen und bodenkundlichen Fragen, die mit Moorkultivierungen verbunden sind, zu lösen, dürfte das nachfolgend mitgeteilte, wesentlich genauere Auswertungsverfahren, das auch die Sackungserscheinungen der Hochmoore berücksichtigt, besonderes Interesse finden.

Das Kehdinger Hochmoor ist 109 km<sup>2</sup> groß und auf Klauboden gelagert. In der Mitte hatte das Moor vor Beginn der Entwässerung eine Mächtigkeit bis zu 16 m und blieb als wildes Moor unberührt, bis der Preußische Staat im Jahre 1892 begann, den ihm daselbst gehörigen Moorbesitz von 720 ha urbar zu machen. Die Randflächen waren schon früher in Kultur genommen worden. Der Hauptvorfluter ist die Grove, die vom Rande des damaligen Wildmoores etwa 900 m entfernt vorbeifließt. In der Grove waren von 1877—1889 und von 1892—1894 die Wasserstände an einem Pegel beobachtet worden. Im Jahre 1892 zog man mitten durch das wilde Moor einen zunächst flachen Hauptentwässerungsgraben von rund 4½ km Länge, parallel dazu auf jeder Seite einen Seitengraben und quer dazwischen Grippen. Die Breite des Entwässerungstreifens betrug dabei 66 m.

<sup>1)</sup> *Krüger, E.*: Bericht über den Stand der Arbeiten zur Besiedlung des fiskalischen Kehdinger Moores. Protokolle der Zentralmoorkommission, 33, 87 (1895).

<sup>2)</sup> *Sarauw*: Beobachtungen über Regenfall und Abflußverhältnisse im Kehdinger Moor, Regierungsbez. Stade. Mitteilungen des Vereins zur Förderung der Moorkultur im Deutschen Reiche, 29, 20 (1911).

<sup>3)</sup> *Klaus*: Einfluß der Entwässerung von Hochmooren auf die tiefer gelegenen Vorländer. Der Kulturtechniker, 26, 146 (1923).

Das Hochmoor hatte vor der Entwässerung in der oberen Schicht einen Wassergehalt bis zu 95% und durchschnittlich 90,44%. Die mittlere Moortiefe betrug längs des Hauptgrabens etwa 12 m. Andert-halb Jahre nach den 1892 begonnenen Entwässerungsarbeiten war das Moor am Hauptentwässerungsgraben durchschnittlich um 0,7 m gesackt, bis zum Jahre 1901 betrug die Sackung 2,7 m und bis 1907 2,95 m. Quer zum Hauptgraben wurde in 200 m Entfernung in den 9 Jahren von 1898 bis 1907 eine Sackung von durchschnittlich 1,15 m festgestellt. In landwirtschaftliche Kultur wurde das Moor erst im Jahre 1900 genommen, nachdem schon das ganze Mooregebiet durch Gräben und Grippen hinreichend entwässert worden war.

Sowohl *Krüger* als auch *Saraaw* bestreiten einen Einfluß der Entwässerung auf den Wasserabfluß. Jedoch hat *Krüger* die Pegel-beobachtungen in der Grove ausgewertet, *ohne die verschiedene Höhe der Niederschläge zu berücksichtigen*. Genauer vergleichbar sind über-haupt nur die Pegelstände der Jahre 1887 bis 1889 vor der Ent-wässerung mit denen der Jahre 1892 bis 1894 nach der Entwässerung, weil nur in diesen Jahren die Niederschläge nahezu gleich hoch waren. Dem Mooregebiet am nächsten lag von 1887 bis 1889 die Regenmeß-stelle in Otterndorf und von 1892—1894 jene in Drochtersen. Aus einer Überschneidung der beiden Beobachtungsreihen vom Juni 1891 bis März 1892 berechnet sich für Drochtersen eine 1,094 mal so große Niederschlagshöhe wie in Otterndorf. Tafel 1 enthält die daraus für Drochtersen abgeleiteten bzw. beobachteten Niederschläge und die Pegelstände in der Grove, Tafel 2 die Unterschiede der Niederschläge und der Pegelstände.

Jahr	Niederschläge für Drochtersen mm	Pegelstände in der Grove			
		HHW m	MHW m	MW m	NW m
Vor der Entwässerung:					
1887	568	1,74	1,12	1,11	0,89
1888	897	2,29	1,73	1,27	0,94
1889	783	2,44	1,65	1,25	0,99
Nach Beginn der Entwässerung:					
1892	655	1,90	1,45	1,11	0,86
1893	823	2,29	1,65	1,28	0,98
1894	759	2,46	1,65	1,25	0,85

Tafel 1

Trotzdem die Niederschläge nach Beginn der Entwässerung um 11 mm geringer waren als vor der Entwässerung, lagen die Hochwasser-stände nach der Entwässerung durchschnittlich um 8 cm höher als vor der Entwässerung. Andererseits waren die Niedrigwasserstände nach der Entwässerung um durchschnittlich 4 cm niedriger als vor der Entwässerung. Es hätten also hiernach die Hochwasserstände

Unterschied der Niederschläge nach und vor der Entwässerung mm	Unterschied der Pegelstände nach u. vor d. Entwässerung			
	H1HW cm	MHW cm	MW cm	NW cm
87	16	33	0	3
71	0	8	1	4
24	2	0	0	11
Mittel 41	6	8	0	4

Tafel 2

zu- und die Niedrigwasserstände abgenommen, während das Mittelwasser gleich geblieben war. Aus den von *Sarauw* mitgeteilten Beobachtungen wird jedoch nachgewiesen werden, daß die Abzapfung des Moores durch die Gräben besonders anfangs eine Abflußvermehrung für alle Wasserstände gebracht hat. Sie läßt sich auch aus der am 4500 m langen Hauptgraben beobachteten Sackung von 0,7 m ableiten. Nimmt man für den 66 m breiten, durch Längsgräben und Grippen entwässerten Streifen am Hauptkanal eine durchschnittliche Sackung von 0,5 m in 1½ Jahren an, so muß der Wasserverlust des Moores mindestens  $4500 \times 66 \times 0,5 = 148\,500 \text{ m}^3$  oder durchschnittlich 3,1 Liter je Sekunde betragen haben. Es liegt deshalb die Wahrscheinlichkeit nahe, daß die Grove bei der Anlage des Moor-entwässerungsgrabens von seiner Mündung abwärts *geräumt* worden ist, wodurch insbesondere die Niedrigwasserstände eine Senkung erfahren mußten.

Einen einwandfreieren Einblick in die Abflußverhältnisse des Hochmoores bei der Entwässerung gewähren die *Abflußmengenmessungen an einem Überfallwehr*, das in den Hauptentwässerungsgraben am Austritt desselben aus dem Wildmoorgebiet eingebaut worden war. Bei Beginn dieser Messungen, die von 1900 bis 1909 stattfanden, war das ganze Moor schon von Grippen und Gräben durchzogen. Im Jahre 1900 war auch mit der landwirtschaftlichen Kultur begonnen und am Ende des Jahres 1900 waren von dem 720 ha großen Einzugsgebiet des Überfallwehres 10,89 ha oder 1,5% kultiviert worden. Am Ende des Jahres 1909 betrug die kultivierte Fläche 226,26 ha oder 29,0% der ganzen Fläche, während gleichzeitig das Einzugsgebiet durch Neuanlage von Gräben auf 780 ha zugenommen hatte. Die Überfallhöhe am Wehr wurde täglich einmal und in länger dauernden regenlosen Zeiten jeden zweiten Tag abgelesen. Ein Regenmesser war diesmal im Kehdinger Moor selbst aufgestellt und wurde laufend beobachtet.

*Sarauw* bringt folgende Tafel 3 über die Niederschläge und Abflüsse von 1900 bis 1909.

*Sarauw* faßt das Ergebnis seiner Untersuchungen in folgenden Sätzen zusammen: «Aus der Tabelle geht hervor, daß mit der zunehmenden Kultivierung sich in den Jahren 1901 bis 1909 das Verhältnis des Abflusses zu den Niederschlägen allmählich verringert, es sinkt von 60% auf 38% wenigstens im Jahresdurchschnitt. Nach Sommer und Winter getrennt läßt sich die Abnahme vorläufig noch nicht ein-

# Niederschlag und Abfluß im Kehdinger Moor.

Jahr	Winter November—April			Sommer Mai—Oktober			Jahr November—Oktober		
	Nieder- schlag mm	Abfluß mm	Abfluß- ver- hältnis %	Nieder- schlag mm	Abfluß mm	Abfluß- ver- hältnis %	Nieder- schlag mm	Abfluß mm	Abfluß- ver- hältnis %
1900/01	296,3	264,9	89	313,9	98,5	31	610,2	363,4	60
1901/02	421,3	304,6	72	498,1	171,1	34	919,4	475,7	52
1902/03	353,2	216,5	62	579,2	272,1	47	932,4	488,6	52
1903/04	333,5	265,9	80	294,0	62,4	21	627,5	328,3	52
1904/05	357,1	217,2	61	528,0	161,2	31	885,1	378,4	43
1905/06	314,6	264,1	84	426,9	103,6	24	741,5	367,7	49
1906/07	275,4	198,9	72	339,3	66,1	20	614,7	265,0	43
1907/08	339,5	192,6	57	428,7	124,7	29	768,2	317,3	41
1908/09	216,3	120,6	56	377,2	106,2	28	593,5	226,8	38
Summe							6692,5	3211,2	
Mittel	323,0	227,3		420,6			743,6	356,8	

Tafel 3

wandfrei feststellen. Es ist demnach für die Unterlieger des Kehdinger Moores kein Grund vorhanden, über die Entwässerung dieses Moores Klage zu erheben, da kein vermehrter Wasserzufluß eingetreten ist.»

Aber *Sarauw* hat übersehen, daß ganz zufällig mit dem Fortschreiten der Kultivierung auch die Jahresniederschläge abgenommen haben. Auch berücksichtigt er nicht, daß im Jahre 1900 große Wassermengen aus dem Moore abgezapft wurden, die sich dann zwar mit abnehmender Sackung verringerten. Wenn die Zunahme der kultivierten Fläche von 1,5% auf 29,0% das Abflußverhältnis von 60% schon auf 38 ermäßigen würde, so hätte kaum ein Tropfen Wasser abfließen dürfen, nachdem die ganze Fläche kultiviert worden war. Die Berechnung des Abflußverhältnisses ist überhaupt nicht geeignet, ein zutreffendes Bild von den Abflüssen zu liefern. Nach den Untersuchungen von *Keller*<sup>1)</sup>, *Koehne*, *Rothe*,<sup>2)</sup> *Fischer*,<sup>3)</sup> ist die Gebietsverdunstung für Mitteleuropa und verschiedene Jahre nahezu konstant, und da die Abflußgleichung

Abfluß = Niederschlag — Verdunstung — Aufspeicherung (1) lautet, kann man nicht das Verhältnis Abfluß zu Niederschlag bilden. Es sind nur die absoluten Zahlen des Abflusses brauchbar.

<sup>1)</sup> *Keller, H.*: Niederschlag, Abfluß und Verdunstung in Mitteleuropa. Besondere Mitteilungen zum Jahrbuch für die Gewässerkunde Norddeutschlands. Bd. 1, Nr. 4, Berlin 1906.

<sup>2)</sup> *Rothe, J.*: Verdunstungs- und Druckwassermengen im Haffdeichverband im Memeldelta. Der Kulturtechniker, 25. Bd., S. 55 (1922).

<sup>3)</sup> *Fischer, K.*: Niederschlag, Abfluß und Verdunstung im Weser- und Allergebiet. Besond. Mitteil. zum Jahrbuch für die Gewässerkunde Norddeutschlands. Bd. 7, Nr. 2, Berlin 1932; derselbe: Ziele und Wege der Untersuchungen über den Wasserhaushalt der Flußgebiete. Mitteilungen des Reichsverbandes der Deutschen Wasserwirtschaft, Nr. 40, Berlin 1936.



Wertet man jedoch die an sich sehr wertvollen Beobachtungen von *Sarauw nach der Korrelationsmethode* aus, so kann man aus ihnen weitgehende Schlüsse auf die Abflußverhältnisse des Kehdinger Hochmoores bei seiner Entwässerung und Kultivierung ziehen, die auf Hochmoore von ähnlichem Charakter verallgemeinert werden dürfen. Die Korrelationsberechnung nach der Methode der kleinsten Quadrate ergibt folgende Korrelationsgleichung für den *Jahresabfluß im Kehdinger Moor* in mm Wasserhöhe:

$$A_J = 0,45 N_J + 0,16 N_{S-1} - 15,9 n + 34 \text{ mm}, \quad \dots \quad (2)$$

mit  $N_J$  = Niederschlagshöhe des betreffenden Jahres vom 1. November bis 31. Oktober,

$N_{S-1}$  = Niederschlagshöhe des vorhergehenden Sommerhalbjahres vom Mai bis Oktober,

$n$  = laufende Nummer des Jahres nach Tafel 4.

In Tafel 4 sind die Abflußhöhen nach Gleichung 2 mit den tatsächlich beobachteten Abflüssen zusammengestellt.

Beobachteter und berechneter Jahresabfluß im Kehdinger Moor.

Jahr Nov. - Okt.	Lfd. Nr.  n	Nieder- schlagdes Jahres N <sub>J</sub>  mm	Niederschlag des vorher- gehenden Sommerhalb- jahres N <sub>S-1</sub>  mm	Beobach- teter Jahres- abfluß  mm	Nach Gl. 2 berechneter Jahres- abfluß  mm	Fehler   mm
1899/00	0	—	408	—	—	—
1900/01	1	610,2	313,9	363,4	358,0	+ 5,4
1901/02	2	919,4	498,1	475,7	466,1	+ 9,6
1902/03	3	932,4	579,2	488,6	485,6	+ 3,0
1903/04	4	627,5	294,0	328,3	345,5	+ 17,2
1904/05	5	885,1	528,0	378,4	399,8	+ 21,4
1905/06	6	741,5	426,9	367,7	356,8	+ 10,9
1906/07	7	614,7	339,3	265,0	267,6	+ 2,6
1907/08	8	768,2	428,7	317,3	306,8	+ 10,5
1908/09	9	593,5	—	226,8	226,6	+ 0,2
Mittel		743,6		356,8		

Tafel 4

Der Korrelationskoeffizient ist

$$R = \sqrt{1 - \frac{\sum \lambda^2}{\sum x_o^2}}, \quad \dots \quad (3)$$

hierin bedeutet  $\sum \lambda^2$  die Quadratsumme der Fehler und  $\sum x_o^2$  die Quadratsumme des Unterschiedes der beobachteten Jahresabflüsse vom mittleren Abfluß. Es wird

$$R = \sqrt{1 - \frac{1120}{59837}} = 0,99. \quad \dots \quad (4)$$

Der Korrelationskoeffizient drückt aus, wie genau der Zusammenhang zwischen den beobachteten und den berechneten Werten ist. Er liegt zwischen den Werten 1 und 0. Wenn sein Zahlenwert 1 ist, so besteht völlige Übereinstimmung zwischen Beobachtung und Berechnung ohne Abweichungen und Ausnahmen. Ist hingegen der Zahlenwert 0, so ist zwischen den Formelgliedern überhaupt kein Zusammenhang vorhanden. Im vorliegenden Falle ist der Korrelationskoeffizient 0,99. Das bedeutet, daß *die Gleichung 2 tatsächlich das Gesetz des Jahresabflusses im Kehdinger Moor während der Entwässerungszeit von 1900 bis 1909 zum Ausdruck bringt.*

Der Jahresabfluß hängt fast zur Hälfte vom Jahresniederschlag, zu einem Sechstel vom Niederschlag des vorhergehenden Sommerhalbjahres ab, und nimmt unter der Voraussetzung mittlerer Niederschlagshöhen infolge der Abnahme der Abzapfung und Sackung des Moores von Jahr zu Jahr um 16 mm ab. Zu Beginn der Entwässerung ist somit der Abfluß wesentlich größer als in späteren Jahren.

Für den *Winterabfluß im Kehdinger Moor* berechnet sich aus den in Tafel 3 enthaltenen Beobachtungswerten die Korrelationsgleichung

$$A_W = 0,783 N_W + 0,188 N_{S-1} - 6,1 n - 74,9 \quad . \quad . \quad (5)$$

mit  $N_W$  = Niederschlagshöhe des Winterhalbjahres vom November bis April,

$N_{S-1}$  = Niederschlagshöhe des vorhergehenden Sommerhalbjahres,

$n$  = laufende Nummer wie in Zahlentafel 4.

$$\text{Der Korrelationskoeffizient ist } R = 0,85. \quad . \quad . \quad . \quad (5a)$$

Für den *Sommerabfluß im Kehdinger Moor* gilt

$$A_S = 0,605 N_S - 0,022 N_W - 5,2 n - 91,6 \quad . \quad . \quad (6)$$

mit  $N_S$  = Niederschlagshöhe des Sommerhalbjahres vom Mai bis Oktober,

$N_W$  = Niederschlagshöhe des vorhergehenden Winterhalbjahres,

$n$  = laufende Nummer wie in Zahlentafel 4.

$$\text{Der Korrelationskoeffizient ist } R = 0,94. \quad . \quad . \quad . \quad (6a)$$

Da in der laufenden Nummernfolge  $n$  des Jahres der Sommer dem Winter folgt und die Abzapfung dauernd abnimmt, ist in Gl. 6 die Abflußverminderung durch Abnahme der Anzapfung kleiner als in Gl. 5.

Eine Zusammenstellung der Abflußhöhen nach den Gleichungen 5 und 6 mit den tatsächlich beobachteten Abflüssen bringt Tafel 5.

Fischer<sup>1)</sup> ermittelte für das 15 594 km<sup>2</sup> große, aus Mineralboden bestehende Allergebiet für den Zeitraum von 1896 bis 1915 folgende Beziehungen zwischen Abfluß und Niederschlag:

*Jahresabfluß im Allergebiet vom 1. November bis 31. Oktober*

$$A_J = 0,703 N_W + 0,216 N_S + 0,342 N_{S-1} - 194 \quad . \quad (7)$$

$$\text{mit } R = 0,87; \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (7a)$$

<sup>1)</sup> Fischer, K.: Niederschlag, Abfluß und Verdunstung im Weser- und Allergebiet, S. 24 und 76.

# Beobachteter und berechneter Halbjahresabfluß im Kehdinger Moor.

Jahr Nov.-Okt.	Lfd. Nr. n	Im Winter			Im Sommer		
		Nieder- schlag mm	Beobach- teter Abfluß mm	Nach Gl. 5 berechnet. Abfluß mm	Nieder- schlag mm	Beobach- teter Abfluß mm	Nach Gl. 5 berechnet. Abfluß mm
1899/00	0	—	—	—	408	—	—
1900/01	1	296,3	264,9	227,7	313,9	98,5	86,6
1901/02	2	421,3	304,6	301,8	498,1	171,1	190,1
1902/03	3	353,2	216,5	277,0	579,2	272,1	235,5
1903/04	4	333,5	265,9	270,7	294,0	62,4	58,1
1904/05	5	357,1	217,2	229,5	528,0	161,2	194,0
1905/06	6	314,6	264,1	234,1	426,9	103,6	128,5
1906/07	7	275,4	198,9	178,3	339,3	66,1	71,2
1907/08	8	339,5	192,6	205,9	428,7	124,7	118,7
1908/09	9	216,3	120,6	120,2	377,2	106,2	85,1

Tafel 5

*Winterabfluß im Allergebiet vom 1. November bis 31. April*

$$A_W = 0,658 N_W + 0,342 N_{S-1} - 180 \quad (8)$$

mit  $R = 0,91$ ; (8a)

*Sommerabfluß im Allergebiet vom 1. Mai bis 31. Oktober*

$$A_S = 0,216 N_S + 0,045 N_W - 14 \quad (9)$$

mit  $R = 0,79$ .

Wie aus den Korrelationskoeffizienten ersichtlich ist, sind trotz doppelt so langer Jahresreihe die Korrelationsbeziehungen für das Allergebiet weniger genau als für das Kehdinger Moor.

Aus den angeführten Korrelationsgleichungen für das Kehdinger Moor und das Allergebiet lassen sich folgende Schlüsse ziehen:

1. Während im Kehdinger Moor die Abflußmenge (wegen Verringerung der Abzapfung des Moores) bei mittleren Niederschlägen dauernd abnimmt, bleibt der Abfluß im mineralischen Allergebiet unter der Voraussetzung mittlerer Niederschläge der gleiche.

2. Im Kehdinger Hochmoor hängt der Abfluß stärker von den Niederschlägen des gleichen Zeitraumes und weniger von denen des vorhergehenden Zeitraumes ab als im mineralischen Allergebiet. Das Speicherungsvermögen des Moores ist demnach geringer als das des Allergiebtes.

3. Im besonderen beeinflussen im Kehdinger Hochmoor die Niederschläge im Sommerhalbjahr den Abfluß etwa dreimal so stark wie im mineralischen Allergebiet.

4. Im Kehdinger Hochmoor vermindert eine Zunahme der Niederschläge im Winter den Abfluß im nachfolgenden Sommer, im mineralischen Allergebiet ist das Entgegengesetzte der Fall.

Da im Kehdinger Moor die mittleren Niederschläge im Jahre um 7%, im Winter um 4% und im Sommer um 9% größer sind als im Allergebiet, sind auch die Schwankungen der Niederschläge und

dadurch die Schwankungen der Abflüsse im Kehdinger Moor noch größer, als ein Vergleich der Korrelationsgleichungen beider Gebiete miteinander erkennen läßt.

Das Kehdinger Hochmoor verhält sich hiernach mindestens während der beobachteten Entwässerungszeit anders, und zwar wasserwirtschaftlich ungünstiger als das mineralische Allergebiet. Es ist dies hauptsächlich darauf zurückzuführen, daß das Hochmoor bei Wasserentzug im Gegensatz zum Mineralboden sackt. Im Hochmoorboden ist deshalb die im Sommerhalbjahr entstehende luftgefüllte Bodenzone über dem Grundwasser weniger mächtig als im Mineralboden, der ein größeres unterirdisches Speicherungsvermögen hat. Außerdem sackt das Moor an den Grabenrändern stärker als in Beetmitte. Diese Wölbung der Oberfläche begünstigt den oberirdischen Abfluß. Im sehr viel größeren Allergebiet sind ferner zahlreiche oberirdische Speichermöglichkeiten vorhanden, die in dem von Gräben völlig aufgeschlossenen Hochmoorgebiet fehlen.

Es ist noch die Frage zu klären, ob die Abnahme der Abflussmenge aus dem Kehdinger Moor nicht auch mindestens teilweise auf eine Zunahme der Verdunstung zurückzuführen ist.

Das Kehdinger Moor war im Jahre 1900 schon weitgehend von Gräben durchzogen und gefahrlos betretbar. Seine Verdunstung kann deshalb gleich der des Heidekrauts gesetzt werden, die *Prytz*<sup>1)</sup> bei seinen Untersuchungen im durchschnittlich 3,1 m tiefen, jungfräulichen Store Vildmose in Jütland im Sommer 1927 bei 437 mm Niederschlagshöhe mit 375 mm und im Durchschnitt der Sommerhalbjahre von 1924 bis 1928 bei 401 mm Niederschlagshöhe mit 370 mm festgestellt hat, während das zu  $\frac{8}{11}$  von Sphagnum mit Heidekraut und zu  $\frac{3}{11}$  von wassererfüllten Schlenken mit Sphagnum und Algen bedeckte Store Vildmose vom 29. 3. 1927 bis 23. 3. 1928 491 mm verdunstete. Da das Kehdinger Moor eine etwas höhere Jahrestemperatur als das Store Vildmose hat und auch seine mittlere Niederschlagshöhe in den Sommerhalbjahren von 1900 bis 1909 mit 421 mm etwas höher liegt, wird mit einer mittleren Verdunstungshöhe von 375 mm im Sommerhalbjahr gerechnet. Als mittlere Winterverdunstung hat *Prytz* im Store Vildmose 107 mm beobachtet, und diese Verdunstungshöhe dürfte auch für das Kehdinger Moor zutreffen. Die mittlere Jahresverdunstung des Kehdinger Moores ergibt sich hiernach zu 482 mm. *Kres*<sup>2)</sup> gibt als Verdunstungshöhe für das Küstengebiet zwischen Elbe und Weser 470 mm an.

Da der Grundwasserstand im Kehdinger Moor mehr und mehr gesenkt wurde, ist keinesfalls mit einer Erhöhung der Verdunstung der Wildflora von 1900 bis 1909 zu rechnen. Zwar ist auch eine nennenswerte Verminderung der Verdunstungshöhe nicht wahrscheinlich, denn *Prytz* hat bei verschiedenen Grundwasserständen eine ziemlich gleichbleibende Verdunstung des Heidekrauts beobachtet. Die landwirtschaftliche Kultivierung des Kehdinger Moores bestand zu-

<sup>1)</sup> *Prytz, K.*: Der Kreislauf des Wassers auf unberührtem Hochmoor. Eine hydrologische Untersuchung in «Store Vildmose» in Jütland 1923—28. Ingeniørvidenskabelige Skrifter A Nr. 33. Kopenhagen 1932.

<sup>2)</sup> *Kres, J.*: Deutsche Küstenflüsse, S. 796. Berlin 1911.

nächst in einem Umbruch von Moorflächen, dem die Anlage von Ackerkulturen folgte. Zu den stärker Wasser verdunstenden Grünlandkulturen ging man erst später über. Außerdem betrug der Umfang der kultivierten Fläche im Jahre 1901 erst 1,5% und im Jahre 1909 29%. *Rothe*<sup>1)</sup> stellte im Memeldelta in einem 180 km<sup>2</sup> großen Gebiet, das etwa zur Hälfte aus Niedermoor- und zur anderen Hälfte aus Schlickboden bestand, bei einem Verhältnis der Kulturarten Wiese zu Weide zu Acker wie 1 zu 1 zu 1 eine jährliche Verdunstung von 488 mm fest. Die Klimaverhältnisse im Kehdinger Moor und im Memeldelta waren nicht sehr verschieden voneinander, wie Tafel 6 lehrt:

Klimaverhältnisse im Memeldelta und im Kehdinger Moor.

Gebiet	Beobachtungsjahre	Niederschläge in mm			Lufttemperatur °C			Relative Luftfeuchtigkeit in %		
		Winter	Som.	Jahr	Winter	Som.	Jahr	Winter	Som.	Jahr
Memeldelta . .	1899/1917	274	401	675	0,4	13,5	6,9	86	78	82
Kehdinger Moor	1900/1909	323	421	744	2,7	13,5	8,1	88	81	95

Tafel 6

Es ist deshalb zu folgern, daß die jährliche Verdunstung im Kehdinger Moor im Zeitraum von 1900 bis 1909, während welchem Sphagnum-Heidekrautvegetation vorherrschte, ziemlich gleichbleibend 482 mm betragen und sich durch die Kulturmaßnahmen nur wenig erhöht haben dürfte.

Mit dieser Verdunstungshöhe berechnet sich nunmehr die negative Aufspeicherung oder *Abzapfung* des Kehdinger Moores nach Gl. 1 und Tafel 3 für den Zeitraum vom 1. November 1900 bis 31. Oktober 1909 zu

$$Z = 3211,2 + 9 \cdot 482 = 6692,5 \quad (10) \\ = 857 \text{ mm.}$$

Nach der Korrelationsrechnung ergibt sich aus Gl. 1 und Tafel 3 die *jährliche Abzapfung im Kehdinger Moor* von 1900 bis 1909 bei einer gleichbleibenden Verdunstungshöhe von 482 mm zu

$$Z_J = 516 - 0,55 N_J + 0,16 N_{S-1} - 15,9 \text{ n.} \quad (11)$$

Die *Abzapfung im Winter* wird bei einer gleichbleibenden Verdunstungshöhe von 107 mm

$$Z_W = 32,1 - 0,217 N_W + 0,188 N_{S-1} - 6,1 \text{ n.} \quad (12)$$

Die *Abzapfung im Sommer* wird bei einer Verdunstungshöhe von 375 mm

$$Z_S = 283,4 - 0,395 N_S - 0,022 N_W - 5,2 \text{ n.} \quad (13)$$

In Tafel 7 sind die einerseits nach Gl. 1 mit  $V_J = 482 \text{ mm}$ ,  $V_W = 107 \text{ mm}$ ,  $V_S = 375 \text{ mm}$  und andererseits nach den Gl. 11, 12 und 13 berechneten Abzapfungshöhen zusammengestellt. Die zugehörigen Niederschlagszahlen sind in Tafel 3 und 4 enthalten.

<sup>1)</sup> *Rothe, J.*: Verdunstungs- und Druckwassermengen im Haffdeichverband im Memeldelta. Der Kulturtechniker 25, 85 (1922).

## Abzapfung im Kehdinger Moor.

Jahr Nov.-Okt.	Lfd. Nr.  n	Abzapfung in mm Wasserhöhe						Nieder- schlags- höhe N <sub>J</sub>  mm
		im Winter		im Sommer		im Jahr		
		nach Gl. 1	nach Gl. 12	nach Gl. 1	nach Gl. 13	nach Gl. 1	nach Gl. 11	
1900/01	1	+ 75,6	+ 38,4	+159,6	+147,7	+235,2	+229,8	610,2
1901/02	2	- 9,7	- 12,5	+ 48,0	+ 67,0	+ 38,3	+ 28,7	919,4
1902/03	3	- 29,7	+ 30,8	+ 67,9	+ 31,2	+ 38,2	+ 35,2	932,4
1903/04	4	+ 39,4	+ 44,2	+143,4	+139,2	+182,8	+200,0	627,5
1904/05	5	32,9	- 20,6	+ 8,2	+ 40,9	- 24,7	- 3,3	885,1
1905/06	6	+ 56,5	+ 26,5	+ 51,7	+ 76,7	+108,2	+ 97,3	741,5
1906/07	7	+ 30,5	+ 9,9	+101,8	+106,9	+132,3	+134,9	614,7
1907/08	8	- 39,9	- 26,6	+ 71,0	+ 65,0	+ 31,1	+ 20,6	768,2
1908/09	9	+ 11,3	+ 10,9	+104,0	+ 82,8	+115,3	+115,1	593,5
Summe		+101,1	+101,0	+755,6	+755,8	+856,7	+858,3	
Mittel		+ 11,2		+ 84,4		+ 95,2		743,6

Tafel 7

Der Unterschied der nach beiden Verfahren ermittelten Abzapfungshöhen ist gering. Folgende Schlußfolgerungen werden aus Gl. 10, den Korrelationsgleichungen 11 bis 13 und Tafel 7 gezogen:

1. Die Abnahme des mittleren jährlichen Abflusses vom Kehdinger Moor um 15,9 mm ist tatsächlich auf den Rückgang der Abzapfung zurückzuführen.

2. Die gesamte Abzapfung des Moores beträgt vom 1. Nov. 1900 bis zum 31. Oktober 1909 857 mm. Fast ebenso groß ist die Moorsackung anzunehmen.

3. Im Sommer ist die Abzapfung und demgemäß auch die Sackung stets positiv und durchschnittlich  $7\frac{1}{2}$  mal größer als im Winter, wobei noch zu beachten ist, daß der Sommer als hinter dem Winter folgend gerechnet wird und die Abzapfung und Sackung mit der Zeit abnimmt.

4. Im Winter ist die Abzapfung bei geringen Niederschlägen positiv, bei hohen Niederschlägen negativ. Bei hohen Niederschlägen sackt offenbar das Hochmoor im Winter nicht, sondern kann sogar schwellen, wie schon *Prytz* am wilden Hochmoor nachgewiesen hat. Im Durchschnitt ist zwar auch im Winter die Abzapfung positiv.

5. Im ganzen Jahre ist die Abzapfung positiv mit Ausnahme des sehr nassen Jahres 1904/05, das bereits in eine Zeit verminderter Sackung fällt.

6. Die Abzapfung nimmt im entgegengesetzten Sinne wie der im gleichen Zeitraum fallende Niederschlag zu und ab.

7. Mit dem im vorhergehenden Sommer gefallenem Niederschlag nimmt die Abzapfung sowohl im ganzen Jahre als auch im Winter im gleichen Sinne wie der Niederschlag zu und ab.

8. Von dem im vorhergehenden Winter gefallenem Niederschlag hängt die Abzapfung im Sommer nur sehr wenig ab.

Zu Vergleichszwecken möge wieder das von *Fischer* untersuchte mineralische Allergebiet herangezogen werden. Die Abzapfung beträgt im Allergebiet im langjährigen Jahresmittel

$$Z_J = 0, \quad . . . . . (14)$$

# Abfluß und Abzapfung im Kehdinger Hochmoor und im Allergebiet bei durchschnittlichen Niederschlägen.

Im Kehdinger Hochmoor		Im mineralischen Allergebiet	
Abfluß im Winter in mm Wasserhöhe			
AW = 0,783 NW + 0,188 NS-1		AW = 0,658 NW + 0,342 NS-1	
= 6,1 n + 74,9		= 180	
Bei gleichbleibenden Niederschlägen		Bei gleichbleibenden Niederschlägen	
im n = 5. Jahre 280 mm		167 mm	
im n = 1. Jahre (1900) 243 mm			
im n = 9. Jahre (1909) 194 mm			
Abfluß im Sommer			
AS = 0,605 NS + 0,022 NW		AS = 0,216 NS + 0,045 NW	
= 91,6		14	
Bei gleichbleibenden Niederschlägen		Bei gleichbleibenden Niederschlägen	
im n = 5. Jahre 171 mm		88 mm	
im n = 1. Jahre (1900) 140 mm			
im n = 9. Jahre (1909) 91 mm			
Abfluß im Jahr			
AJ = 0,45 NJ + 0,16 NS-1		AJ = 0,703 NW + 0,216 NS	
15,9 n + 34		+ 0,342 NS-1 = 194	
Bei gleichbleibenden Niederschlägen		Bei gleichbleibenden Niederschlägen	
im n = 5. Jahre 503 mm		254 mm	
im n = 1. Jahre (1900) 407 mm			
im n = 9. Jahre (1909) 280 mm			
Abzapfung im Winter in mm Wasserhöhe			
ZW = 32,1 + 0,217 NW		ZW = 146 + 0,292 NW	
+ 0,188 NS-1 = 6,1 n		+ 0,417 NS-1	
Bei gleichbleibenden Niederschlägen		Bei gleichbleibenden Niederschlägen	
im n = 5. Jahre + 70 mm		+ 70 mm	
im n = 1. Jahre (1900) + 33 mm			
im n = 9. Jahre (1909) + 16 mm			
Abzapfung im Sommer			
ZS = 283,4 + 0,395 NS		ZS = 144 + 0,417 NS	
+ 0,022 NW = 5,2 n		0,292 NW	
Bei gleichbleibenden Niederschlägen		Bei gleichbleibenden Niederschlägen	
im n = 5. Jahre + 143 mm		+ 68 mm	
im n = 1. Jahre (1900) + 112 mm			
im n = 9. Jahre (1909) + 70 mm			
Abzapfung im Jahr			
ZJ = 516 + 0,55 NJ + 0,16 NS-1		ZJ	
= 15,9 n			
Bei gleichbleibenden Niederschlägen		Bei gleichbleibenden Niederschlägen	
im n = 5. Jahre + 264 mm		+ 0	
im n = 1. Jahre (1900) + 168 mm			
im n = 9. Jahre (1909) + 41 mm			

Tafel 9

ter des Allergebiets einen gleichbleibenden Abfluß hat und keine Abzapfung im jährlichen Mittel erleidet. Etwa im 17. Entwässerungsjahr würden bei der im Kehdinger Moor angewandten Entwässerungstiefe und Grabenentfernung die Abflüsse beider Gebiete gleich und die Moorsackung nahezu beendet sein.

2. Unter der gleichen Voraussetzung ist der Abfluß in einem Hochmoor vom Charakter des Kehdinger Moores gegenüber dem



Abfluß in einem mineralischen Gebiet vom Charakter des Allergebiets im Winter verhältnismäßig stärker als im Sommer.

3. Unter der gleichen Voraussetzung ist die *Abzapfung* in den ersten Jahren der Entwässerung des Moores im Winter positiv und etwa gleich der *Aufspeicherung* im mineralischen Gebiet; in den letzten Beobachtungsjahren speichert im Winter auch das Moor Wasser wie das mineralische Gebiet auf, wenn auch in geringerem Maße. Im Sommer ist die Abzapfung im Moor in den ersten Jahren der Entwässerung etwa doppelt so hoch und in den letzten Beobachtungsjahren etwa ebenso hoch wie im mineralischen Gebiet.

Hieraus geht ebenfalls hervor, daß *das durch offene Gräben entwässerte Kehdinger Hochmoor ein geringeres Aufspeicherungsvermögen für Niederschläge hat als ein mineralisches Gebiet vom Charakter des Allergebiets.*

Werden in späteren Jahren die Entwässerungsgräben im Moore vertieft oder die Entwässerung durch neue Grippen und Dräne verstärkt, so vergrößern sich selbstverständlich auch wieder die Abflüsse, Abzapfungen und Sackungen.

Zwar wird ein hauptsächlich durch Dräne entwässertes Moor ein größeres Aufspeicherungsvermögen für Wasser haben als ein durch offene Gräben und Grippen entwässertes.

Die *gesamte Abzapfungshöhe* des Kehdinger Hochmoores kann wie folgt berechnet werden. Aus Tafel 7 ergibt sich die Höhe der Abzapfung vom Jahre 1900 bis 1909 zu 856,7 mm. Für die übrigen Jahre kann in Gl. 11 der aus Tafel 3 zu entnehmende mittlere Niederschlag eingesetzt werden. Vor dem Jahre 1900 kann ferner die Korrelationsgleichung 11, wie schon erwähnt, bis etwa zum  $n = \dots 5$ . Beobachtungsjahre angewandt werden, das man dann als erstes Entwässerungsjahr unter Annahme eines vollständig hergerichteten offenen Grabennetzes anzusehen hat, denn vom Jahre 1892 bis 1900 war das Moor schrittweise mit Gräben überzogen worden, und dem würde man durch diese Mittelbildung hinreichend Rechnung tragen. Dann folgt aus Gl. 11 die durchschnittliche jährliche Abzapfung:

$$\begin{aligned} Z_J &= 516 - 0,55 \cdot 743,6 + 0,16 \cdot 120,6 - 15,9 n \\ &= 174,3 - 15,9 n \dots \dots \dots (18) \end{aligned}$$

Die gesamte Abzapfungshöhe von 2,16 m bis zum Jahre 1911 muß um das Maß der Wasserabgabe des luftgefüllten Bodenraumes größer als die durchschnittliche Sackung des Moores sein. Bei etwa 70 cm Mächtigkeit der lufthaltigen Bodenzone und 20% Luftgehalt derselben ist die Wasserabgabe dieser Zone 140 mm. *Folglich muß die durchschnittliche Sackung rund 2 m betragen haben.* Bis zum Jahre 1907 betrug die Sackung längs des Hauptgrabens 2,95 m und war nahezu zum Stillstand gekommen. Seitlich des Hauptgrabens war wegen der geringeren Entwässerungstiefe und geringeren Mächtigkeit des Moores auch die Sackung geringer. In 200 m Entfernung vom Hauptgraben war von 1898 bis 1907 eine Sackung von 1,15 m beobachtet worden. Vom Jahre 1892 an bis zum rechnerisch ermittelten Stillstand der Sackung bei der vorhandenen Entwässerungstiefe etwa im Jahre 1911 dürfte die durchschnittliche Sackung des ganzen Geländes dem errechneten Betrage von 2 m entsprochen haben.

Die nachstehende Tabelle 10 enthält die hieraus berechneten Abzapfungshöhen.

Beobachtungsjahr n	Kalenderjahr	Abzapfungshöhe mm
--- 5		253,8
--- 4		237,9
--- 3		222,0
--- 2		206,1
--- 1		190,2
0	1899/00	174,3
1—9	1900/09	856,7
10	1909/10	15,3
11	1910/11	0
zusammen		2156,3

Tafel 10

Es ist hierbei zu beachten, daß zwar wieder eine verstärkte Sackung und Abzapfung eintritt, wenn das Moor durch Vertiefung der Gräben und Dränung stärker entwässert wird.

Die bisherigen Ergebnisse werden durch einen Vergleich der am Meßwehr im Kehdinger Moor von *Sarauw* ermittelten Abflußzahlen mit den Abflußzahlen des benachbarten *Einzugsgebietes der Oste* bestätigt. Das Einzugsgebiet der Oste hat an der Meßstelle in Minstedt eine Größe von 676,5 km<sup>2</sup>, von denen 40,7 km<sup>2</sup> auf Wald, 69,5 km<sup>2</sup> auf Wiesen, 125,7 km<sup>2</sup> auf Acker entfallen. 82,0 km<sup>2</sup> sind Moorflächen und 358,6 km<sup>2</sup> waren mineralische Heide. Während der mittlere Jahresniederschlag im Kehdinger Moor 744 mm betrug, war er im gleichen Zeitraum in Bremervörde, der Mitte des Ostegebiets, 749,8 mm und in Neuhaus a. Oste 726 mm. Die Abflußzahlen beider Gebiete in der Zeit vom 1. November 1900 bis 31. Oktober 1909 waren folgende:

Abflußzahlen aus dem Kehdinger Moor und dem Ostegebiet.

Wasserstände	Abflußzahlen in sl/km <sup>2</sup>		Kehdinger Moor mehr als Oste- gebiet sl/km <sup>2</sup>
	Kehdinger Moor (7,5 km <sup>2</sup> )	Ostegebiet (676,5 km <sup>2</sup> )	
MHW im Winter . . .	38,1	32,1	6,0
MHW im Sommer . .	26,7	21,1	5,6
MW im Winter . . .	14,5	10,4	4,1
MW im Sommer . . .	8,0	4,9	3,1
MW im Jahr . . . . .	11,3	7,7	3,6
MNW im Winter . . .	5,3	3,4	1,9
MNW im Sommer . .	3,1	2,3	0,8

Tafel 11

Der mittlere Jahresabfluß im Kehdinger Moor war also um 3,6 sl/km<sup>2</sup> größer als im Ostegebiet.

Nun aber bewirkt die für das Kehdinger Moor vom 1. November 1900 bis 31. Oktober 1909 ermittelte Abzapfung in Höhe von 856,7 mm eine Erhöhung des durchschnittlichen Jahresabflusses aus dem Moor von

$$\frac{856,7 \cdot 100 \cdot 10\,000^2}{9 \cdot 365 \cdot 86\,400} = 3,02 \text{ sl/km}^2. \quad \dots \quad (19)$$

Berücksichtigt man, daß die am Meßwehr im Kehdinger Moor ermittelte Abflußzahl für Mittelwasser wegen der rechteckigen Wehrform dem durchschnittlichen Abfluß sehr nahe kommt, hingegen die in der Oste aus dem Mittelwasserstande berechnete Abflußzahl wegen der Trapezform des Flußquerschnitts niedriger sein muß als der durchschnittliche Jahresabfluß, so ist der Wert 3,6 noch um ein Geringes zu vermindern, wenn man den wahren Unterschied der *durchschnittlichen* Abflußzahlen erhalten will. Durch diese notwendige Berichtigung kommt man zu einer nahezu völligen Übereinstimmung beider Ergebnisse. Die aus der Korrelationsgleichung berechnete Abzapfungshöhe wird hiermit erneut als richtig erwiesen.

Aus Tafel 11 läßt sich ferner übereinstimmend mit den aus den Korrelationsgleichungen abgeleiteten Gesetzen noch folgern, daß das Speichervermögen des Kehdinger Moores für Niederschläge insbesondere im Winter geringer ist als das des Ostegebiets. Denn gegenüber dem Ostegebiet haben die Hochwasser aus dem Kehdinger Moor, insbesondere die des Winters, bis zu 6 sl/km<sup>2</sup> höhere Abflußzahlen als die Niedrigwasser.

Genauer über den *Einfluß der Moorentwässerung auf den Hochwasserabfluß* läßt sich aus der von *Sarauw* gebrachten Übersicht der Hoch-, Mittel- und Niedrigwasserabflüsse am Meßwehr im Kehdinger Moor herleiten (Tafel 9).

Abflußzahlen im Kehdinger Moor.

Jahr Nov. bis Okt.	Lfd. Nr. n	Abfluß im Winter in sl/km <sup>2</sup>					Abfluß im Sommer in sl/km <sup>2</sup>				
		HW	MIW	MW	MNW	NW	HW	MIW	MW	MNW	NW
1900/01	1	57,1	36,0	16,9	7,4	1,3	45,0	22,1	6,2	2,3	1,5
1901/02	2	93,3	47,0	19,6	6,5	3,9	38,2	23,2	10,8	3,9	2,5
1902/03	3	51,7	36,3	13,9	4,4	1,9	91,9	63,1	17,1	5,3	1,7
1903/04	4	63,8	45,8	16,9	6,1	4,2	17,4	8,6	3,9	2,3	1,1
1904/05	5	61,3	39,4	13,9	5,7	4,6	137,4	33,6	10,1	4,3	1,0
1905/06	6	110,0	46,9	16,8	6,4	3,4	59,6	26,7	6,5	1,9	0,3
1906/07	7	47,0	30,0	12,6	4,1	2,8	58,7	15,8	4,2	2,0	1,2
1907/08	8	58,9	32,1	12,2	4,5	2,2	70,4	25,2	7,9	2,8	0,9
1908/09	9	50,1	29,5	7,7	2,7	1,1	52,8	22,2	6,7	2,6	1,2
Mittel			38,1	14,5	5,3			26,7	8,2	3,1	

Tafel 12

Für die Korrelationsrechnung sind besonders die gemittelten Abflußzahlen geeignet. Tafel 13 enthält ihre Korrelationsgleichungen mit den Korrelationskoeffizienten.

Für mittleres Hochwasser (MHW)	
$Q_{MHW} = 0,1087 AW + 13,39$ mit R = 0,84	$Q_{MHW} = 0,2217 AS - 2,00$ mit R = 0,93
$Q_{MHW} = 0,1087 AW + 0,35 n + 11,63$ mit R = 0,85	$Q_{MHW} = 0,2217 AS + 0,60 n - 5,01$ mit R = 0,94
$Q_{MHW} = 0,0984 NW + 0,0348 NS-1$ - 8,43 mit R = 0,80	$Q_{MHW} = 0,1554 NS - 0,0817 NW$ - 12,25 mit R = 0,87
$Q_{MHW} = 0,0984 NW + 0,0348 NS-1$ - 0,14 n - 7,75 mit R = 0,80	$Q_{MHW} = 0,1554 NS - 0,0817 NW$ - 1,40 n - 5,27 mit R = 0,90
Für mittleres Niedrigwasser (MNW)	
$Q_{MNW} = 0,0246 AW - 0,29$ mit R = 0,910	$Q_{MNW} = 0,0171 AS + 0,82$ mit R = 0,940
$Q_{MNW} = 0,0246 AW - 0,028 n - 0,15$ mit R = 0,912	$Q_{MNW} = 0,0171 AS - 0,015 n + 0,90$ mit R = 0,941
$Q_{MNW} = 0,0193 NW + 0,0046 NS-1$ - 0,178 n - 1,99	$Q_{MNW} = 0,0103 NS - 0,0004 NW$ - 0,104 n - 0,67

Tafel 13

In der Tafel bedeuten:

- AW = Abfluß im Winter in mm Wasserhöhe,  
 AS = Abfluß im Sommer in mm Wasserhöhe,  
 NW = Niederschlag im Winter in mm Wasserhöhe,  
 NS = Niederschlag im Sommer in mm Wasserhöhe,  
 NS-1 = Niederschlag im Sommer des vorhergehenden Jahres in mm Wasserhöhe,  
 n = laufende Nummer des Beobachtungsjahres nach Tafel 12.

Aus Tafel 13 ist folgendes zu folgern:

1. Die Korrelation der Abflußzahlen zum Abfluß ist genauer als zum Niederschlag. Durch Berücksichtigung der Nummernfolge des Entwässerungsjahres wird die Korrelation verbessert.

2. Da der mittlere Abfluß aus dem Moor in den ersten Jahren der Entwässerung größer als nachher ist, sind in den ersten Jahren auch die mittleren Abflußzahlen größer als in späteren Jahren.

3. Die Abflußzahlen für Hochwasser nehmen mit fortschreitender Entwässerung besonders im Sommer ab, *jedoch in geringerem Maße als die Abflüsse.*

4. Die Abflußzahlen für Niedrigwasser nehmen mit fortschreitender Entwässerung besonders im Winter ab, *jedoch in stärkerem Maße als die Abflüsse.*

Zusammenfassend darf gefolgert werden, daß die Abflußhöhen und die Spitzen der Hochwasser bei Beginn der Moorentwässerung erheblich vergrößert werden. Deshalb ist bei der Moorentwässerung Vorsorge zu treffen, daß die Vorfluter den besonders in den ersten Jahren stark vermehrten Abfluß auch unschädlich für die Unterlieger abzuführen vermögen. Glücklicherweise vermindern sich die Abflußhöhen und Hochwasserspitzen mit fortschreitender Moorkultivierung. Zwar bleibt ein geringeres Aufspeicherungsvermögen für große Niederschläge auch noch in späteren Jahren bestehen, was damit zu erklären ist, daß die früher zahlreichen wasseraufspeichern-

den Schlenken und Moorseen fortgefallen sind und sich durch Abzapfung und Sackung eine nach den offenen Gräben hin *abfallende, zunehmend gewölbte Beetform* ausbildet, die den oberirdischen Abfluß der Niederschläge begünstigt und dadurch ihre Aufspeicherung für Trockenzeiten vermindert. Diese wasserwirtschaftlich ungünstige Auswirkung der Moorentwässerung auf die Abflußzahlen gilt jedoch sehr wahrscheinlich zum mindesten nicht in gleichem Grade für Hochmoore, die hauptsächlich durch Dräne entwässert werden.

Die Ergebnisse dieser Untersuchung werden durch die Erfahrungen von *Klaus*<sup>1)</sup> im Ahlen- und Falkenberger Moor bei Otterndorf und im Kehdinger Moor bei Himmelpforten bestätigt. Die Abflußspitzen der Hochwasser schnellten oft um mehr als das Doppelte bei vorentwässerten Mooren im Vergleich zu nicht entwässerten empor. Wenn *Klaus* zwar Unterschiede in der Jahresabflußmenge nicht festzustellen vermochte, so ist es zweifellos ebenfalls nur auf das angewandte, die Niederschläge nicht hinreichend berücksichtigende Auswertungsverfahren zurückzuführen.

Es wäre eine dankenswerte Aufgabe, nach gleichem Verfahren, wie hier angegeben, auch die an anderen Mooren gemachten Abflußmengen- und Sackungsbeobachtungen auszuwerten. Besonders wichtig sind langjährige lückenlose Beobachtungen, die sich sowohl auf die Verhältnisse vor der Entwässerung als auch auf längere Zeit nach der Kultivierung des Moores erstrecken. Es sollten Moore, die nach Aufbau, Mächtigkeit, Oberflächenform, Ausdehnung und Klima größere Verschiedenheiten aufweisen, nach einem geregelten Plan wasser- und bodenwirtschaftlich untersucht werden.

<sup>1)</sup> *Klaus*, siehe Fußnote 3, S. 315

## 43. Beiträge zur Frage der Moorsackung

Von

Prof. I. A. Hallakorpi, Helsinki, Finnland.

In Finnland sind eigentliche Moorsackungsuntersuchungen in verhältnismäßig geringem Umfange ausgeführt worden. Für die Praxis hat man Formeln übernommen, die sich sowohl auf ausländische Forschungsergebnisse als auch auf die im eigenen Lande gemachten Beobachtungen stützen und die im allgemeinen in solchen Verhältnissen, in denen es nicht notwendig gewesen ist, an die Länge der Zeit allzu große Anforderungen zu stellen, den Ansprüchen befriedigend entsprochen haben.

Im folgenden stelle ich die Ergebnisse von im Sommer 1936 ausgeführten Untersuchungen dar, die die Sackung kultivierten Moores bei den Moorkulturen der Versuchsstation des Finnischen Moorkulturreins in Karelrien betreffen.

Das Areal der untersuchten Moorkultur beträgt etwa 15 ha, es ist ein zirka  $500 \times 300$  m großes, rechteckiges Gebiet, das in seiner Längsrichtung nach Norden und Nordnordosten geneigt ist. Das Gebiet gehört zu einer mehrere Quadratkilometer umfassenden, von ihm nach Norden, Osten und Westen sich fortsetzenden Moorgruppe. In dem untersuchten Gebiet schwankt die Torftiefe zwischen 0,5 m und 7,3 m. Das Gebiet ist mit durchschnittlich etwa 1,2–1,4 m tiefen Dränen durchzogen. Als Dräne sind Holzlöhren benutzt worden. Die Dränung wurde im Jahre 1930 ausgeführt, so daß die Sackungszeit 6 Jahre umfaßt. Vor der Dränung war das untersuchte Gebiet seit der Gründung der Versuchsstation oder seit 1922 allmählich urbar gemacht und durch offene Gräben entwässert worden.

Das Moor ist seiner Vegetation nach ein zur Gruppe der Niedermoores gehöriges Bruchmoor gewesen oder nach *Brüne* zur Gruppe der Übergangsmoores zu rechnen. Ebenso ist der Torf des Moores in seiner ganzen Mächtigkeit nach der Untersuchung von *Varis* und nach später entnommenen Proben so gut wie ausschließlich Waldseggenphagnum- und Sphagnumseggenwald-Torf, sowie deren Zwischenform. Das Moor ist somit während seiner ganzen Wachstumszeit ein mit Wald (teils Nadel-, teils Laubholz) bestandenes Carex- und Sphagnummoor gewesen; von diesen Pflanzengruppen ist bald die eine, bald die andere reichlicher vertreten gewesen. An den meisten Stellen scheint das Moor bis in eine Tiefe von etwa 2,0 m bis 2,5 m stärker sphagnumhaltig als weiter unten gewesen zu sein, doch wechseln die genannten Schichten an den verschiedenen Stellen in verschiedener Weise miteinander ab. Der Zersetzungsgrad schwankt zwischen 6–8 (nach *von Post*), ist aber stellenweise größer. Erio-

phorum vaginatum-Fäden sind nur an wenigen Stellen anzutreffen. Wurzelfäden sind stellenweise in reichlicher, stellenweise in geringer Menge vorhanden, aber an den meisten untersuchten Stellen anzutreffen. Desgleichen sind in fast allen Bohrproben Reste von Bäumen und Reisern anzutreffen. Auch finden sich Reste von Equisetum, Menyanthes, Phragmites und anderen Pflanzen sowohl in den oberen als auch den unteren Torfschichten in recht nennenswerter Weise.

Das Oberflächengefälle des Moores und das Gefälle des Untergrundes sind annähernd die folgenden gewesen:

Ort	Gefälle der Mooroberfläche		Mooruntergrund
	1930	1936	
Im Oberteil des Moores	6 - 7 $\frac{0}{100}$	9 - 10 $\frac{0}{100}$	Gefälle 20 $\frac{0}{100}$
Im Unterteil des Moores	3 - 4 $\frac{0}{100}$	2 - 3 $\frac{0}{100}$	Steigung > 5 $\frac{0}{100}$

Der Untergrund des Moores bildet ungefähr in dessen Mitte eine Niederung, in welcher die unterste Torfschicht gyttjahaltig ist und in der also einst ein unbedeutender Waldweiher vorhanden war. Die aus dem Jahre 1921 stammenden Höhenangaben sind so mangelhaft, daß es mit ihrer Hilfe nicht möglich ist, die Moorsackung während der Jahre 1922—1930 zu ermitteln.

Das an der Süd- und Südwestseite verlaufende, zur Moränenosbildung des Salpausselkä gehörige, ziemlich ausgedehnte Hügelland ergibt seine Grund- und Tagwasser über das Moor. Das meiste Grundwasser gelangt aus einer Quelle, die an der Spitze eines beinahe bis in die Mitte des Kulturgebiets sich erstreckenden Sandoses gelegen ist, auf das Moor. Die Wassermenge der Quelle betrug am 16. VIII. 1936 etwa 2,4 sl. In der zirka zweihundert Meter weiter abwärts gelegenen Brunnenstube des Sammlers wurde die Wassermenge zu 2,9 sl gemessen. Diese gemessenen Wassermengen schließen weder Tagwasser noch Sickerwasser ein, da vor der Wassermessung zirka zwei Wochen lang trockenes Wetter gewesen war. Außer dem Wasser der genannten Quelle tritt am Oberrand des Moores an mehreren Stellen quellenartiges Grundwasser auf. Das in Frage stehende Quell- und Grundwasser ist in so hohem Maße eisenhaltig, daß sich in ihm, nachdem es in den Dränen mit der Luft in Berührung getreten ist, reichlich Eisenhydroxyd absetzt.

Der Entwässerungskanal des Kulturgebiets, in dem das Wasser eines über 600 ha großen Niederschlagsgebiets abfließt, ist am Nordrand des Gebietes gelegen. Für die Dränung wurde der Kanal um mehr als ein halbes Meter vertieft.

Die Dränung verteilt sich auf fünf Systeme. Die größte Länge der Sauger beträgt 280 m, ihr geringstes Gefälle vor der Sackung des Moores war 0,16%. Das geringste Gefälle des Sammlers war ursprünglich 0,11%. Die Sackung des Moores verringerte das Gefälle von 0,25% eines Sammlers so stark, daß der Sammler versagte. Der Unterteil dieses Sammlers wurde 1935 in einer Länge von etwa 60 m durch einen offenen Graben ersetzt.

Bei der 1936 angestellten Untersuchung zur Ermittlung der Größe der Moorsackung wurde an den Dränen ein Nivellement ausgeführt, auch wurden die Tiefen der Dräne und die Stärken der Torfschichten an den Nivellementspunkten gemessen. Außerdem wurden mit dem Moorbohrer für Laboratoriumsuntersuchungen Torfproben entnommen. Die so erhaltenen Ergebnisse sind mit den Angaben der Oberflächennivellements von 1930 und dem Nivellementsproto-

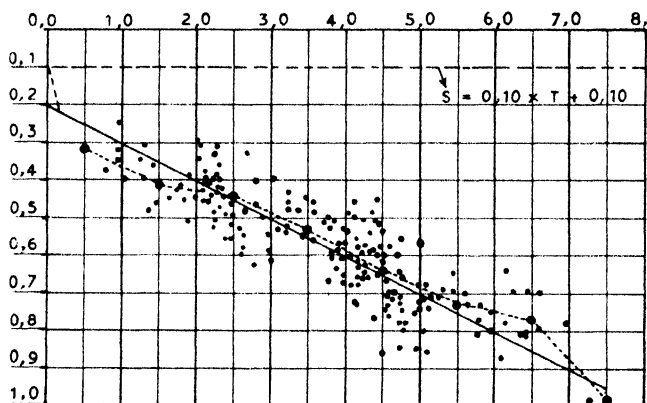


Abb. 1

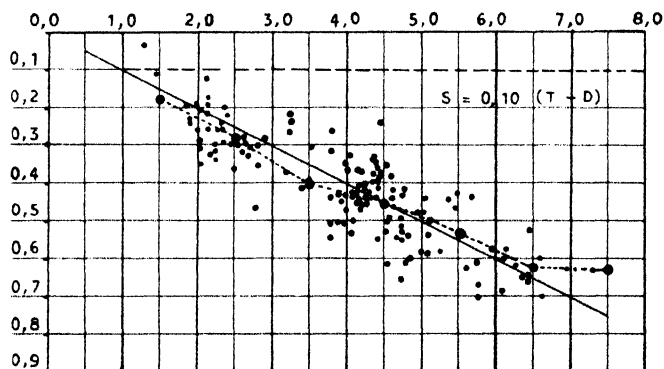


Abb. 2

koll der vor der Dränung ausgeführten Pfählung verglichen worden. Es ist zu bemerken, daß man auf diese Weise keinen hinreichend genauen Vergleich zwischen den Oberflächenhöhen in den Jahren 1930 und 1936 erreichen kann, weil diese Höhen ohne Pfählung nivelliert worden sind. Die Unsicherheit der einzelnen Punkte muß vielleicht auf 5—10 cm oder etwas mehr geschätzt werden. Doch kann man annehmen, daß diese Unsicherheiten oder Fehler bei einer genügend großen Zahl von Messungen sich ausgleichen.

Die Untersuchungsergebnisse sind in den Abbildungen 1 und 2 dargestellt. Abbildung 1 gibt die Beobachtungen über die Sackung



der Erdoberfläche wieder. Aus Abbildung 2 ist die Größe der Sackung der Dräne zu ersehen. Die 0-Höhen der Abbildungen bezeichnen das Niveau der Erdoberfläche und der Dräne im Jahre 1930, vermerkt nach dem von der Versuchsstation ausgeführten Nivellement. Die Sackungszeit umfaßt also den Zeitraum von 1930—1936 oder 6 Jahre.

Aus den Bildern geht hervor, daß nach unseren Beobachtungsergebnissen trotz der großen Abweichung die Sackung um so größer gewesen ist, je mächtiger das Torflager an der Beobachtungsstelle war. In den Abbildungen ist der Mittelwert jeder Torftiefengruppe mit größeren Punkten vermerkt, und diese sind durch gestrichelte Linien miteinander verbunden, außerdem ist die angenommene Regelmäßigkeit der Sackung durch eine ausgezogene Linie wiedergegeben.

Suchen wir diejenigen Faktoren, die auf die Größe der Sackung der Moore einwirken, so können wir schon auf Grund des oben Dargestellten sagen, daß als größter Faktor, wie bereits bekannt, die Torftiefe  $T$  anzusprechen ist. Desgleichen ist bekannt, daß die Beschaffenheit der Torfschichten ebenfalls von sehr großem Einfluß auf die Größe der Moorsenkung ist. Es war jedoch nicht möglich, die Wirkung des letztgenannten Faktors auf dem von uns untersuchten Moor gesondert herauszustellen, und zwar aus dem Grunde, weil das Moor in seiner ganzen Tiefe, wie weiter oben bereits beschrieben, hauptsächlich nur aus MCS- und SCM-Torf besteht.

Als zweiter und dritter Faktor wirken auf die Größe der Moorsackung oder der Senkung der Mooroberfläche die Dräntiefe  $D$ , sowie die durch die feldmäßige Kulturbearbeitung verursachte Vererdung und Raumverminderung der Moormasse  $K$ .

Hierzu ist zu sagen, daß die wechselnde Dräntiefe in der Weise wirkt, daß eine tiefer abgetrocknete Moorschicht mehr zusammenschrumpft als eine flach abgetrocknete. Die abgetrocknete D-Schicht preßt je nach ihrem Gewicht, die darunter liegende, mit Grundwasser erfüllte Torfschicht mehr oder weniger zusammen. In gleicher Weise wirken die auf die Moorkulturen als Meliorationsmaterial gebrachten Lehm- und Sandzufuhren.<sup>1)</sup>

Der Einfluß des dritten Faktors  $K$  ist ebenfalls unverkennbar. Ist es doch klar, daß, da der Moortorf nur etwa 10–15% Trocken-

<sup>1)</sup> Zur Ermittlung der Größe der Zusammenpressung des Torfes wurden an einem Nebenvorfluter einige Volumengewichtsbestimmungen vorgenommen, wobei sich ergab:

Tiefe m	Mittelvolumen- gewicht	Längen- schrumpfung	Torffart	Bemerkungen
0,30	0,22	17 %	MSC-T	Wasserspiegel des Vorfluters = 1,50 m
0,80	0,18	16 %	SCM-T	
1,80	0,09	36 %	SMC-T	

Die Ergebnisse weisen auf Veränderungen in der erwarteten Richtung hin, wenngleich sie, vielleicht wegen der Verschiedenheit in der Beschaffenheit des Torfes, allzu große Unterschiede zeigen.

Die abgetrocknete D-Schicht von 1,0 m Stärke kann also mit Hilfe unserer Gewichtszahlen auf ca. 200 kg je Quadratmeter geschätzt werden. Dieses Gewicht umfaßt auch die Sanddecke, welche als Meliorationsmaterial angewandt worden ist und auf ca. 40–60 kg je m<sup>2</sup> geschätzt werden kann.

substanz und 90--85% von Luft und Wasser erfüllten Porenraum einschließt, sowohl die Urbarmachung als auch das Pflügen und Eggen auf die Oberschicht des Moores in der Weise einwirken, daß seine Struktur zerbricht, zusammenfällt, vererdet und «verbrennt», was alles zu einer Senkung der Mooroberfläche führen muß.

Wir können somit sagen, daß bei jedem beliebigen Moor die Sackung je Zeiteinheit zum mindesten eine Funktion der genannten drei Faktoren ist, d. h.  $S = f(T, D, K)$ .

In dem untersuchten Fall scheint die Größe der Setzung in ziemlich direktem Verhältnis zur Torftiefe gestanden zu haben. Das genannte Verhältnis kann man also vorläufig wiedergeben durch die Gleichung

$$S = a \cdot T + b, \dots \dots \dots (1)$$

wobei  $a$  eine Zahl ist, die den Einfluß der Torftiefe  $T$  auf die Größe der Sackung  $S$  angibt, und  $b$  eine Zahl, die von den Faktoren  $D$  und  $K$  abhängt.

Die Ergebnisse unserer Untersuchungen lassen schon graphisch erkennen, daß die Setzung der Mooroberfläche auf dem untersuchten Moor annähernd nach der Formel

$$0,10 \cdot T$$

verlaufen ist, was also zeigt, daß die Größe der Sackung in den vorgenannten 6 Jahren zirka 10% der Torftiefe, vermehrt um die Zahl  $b = 0,20$ , ausgemacht hat, bei welcher letztgenannten Zahl, wie gesagt,  $D$  und  $K$  wirkende Faktoren sind. Wie stark diese Faktoren jeder für sich eingewirkt haben, läßt sich nicht an Hand unseres Untersuchungsmaterials ermitteln.<sup>1)</sup>

In Abb. 3 sind dieselben Ergebnisse in etwas anderer Weise dargestellt. Dort zeigen die Linien  $A$  und  $B$  die Höhe der Erdoberfläche und der Dräne im Jahr 1930,  $A'$  und  $B'$  die gleichen Höhen im Jahr 1936 und  $C$  die Höhe des Mooruntergrundes.

Es wäre interessant, in diesem Zusammenhang auch darzustellen, wie Lage- und Gefällverhältnisse der Dräne sich durch die Moorsackung verändert haben, doch würde es im Rahmen unserer Dar-

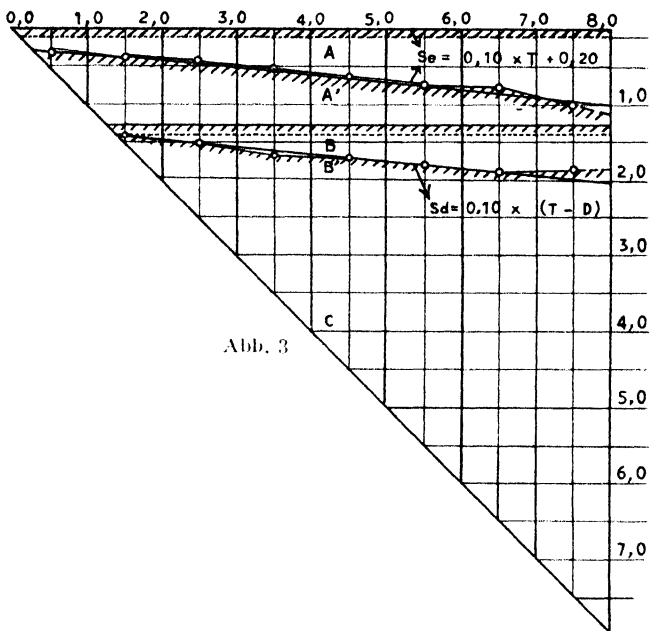
<sup>1)</sup> Mit Rücksicht auf die absoluten Werte der erhaltenen Sackungszahlen muß bemerkt werden, daß das Nivellement vom Jahre 1930 sich als ungenau erwiesen hat. Desgleichen sind zwischen den Angaben des Nivellementsprotokolls bei der Ausführung der Dränung und den wirklichen Tiefen der Dräne im Mineraluntergrund Unterschiede festgestellt worden. Obgleich diese Unterschiede so stark wechseln, daß sie an sich der Vermutung auch eines systematischen Fehlers keine genügende Stütze verleihen, geben die von uns in Abb. 1 und 2 dargestellten Ergebnisse dennoch zu der Vermutung Anlaß, daß auch ein systematischer Nivellementsfehler vorliegt. Die Erdoberflächen- und Dränhöhen vom Jahre 1930 stimmen nämlich an der Grenze des Mineral-Untergrundes mit unseren Beobachtungen nicht befriedigend überein.

Nehmen wir an, der letztere Fehler sei ca. 8--13 cm oder im Mittel etwa 10 cm, so erhalten wir die Höhen des Erdbodens und der Dräne in den Lagen, die auf den Abbildungen durch die gestrichelten Linien bezeichnet sind. Die Änderung gibt ein wahrscheinlicheres Bild von der Sachlage als unser Bild ohne Änderung. Doch bewirkt die Änderung bei unserem Endergebnis eigentlich nichts anderes, als daß wir bei Formel (2)  $b = 0,10$  erhalten, was auch den anderswo erhaltenen Ergebnissen besser entspräche.

stellung zu weit führen. Ebensovienig besteht Anlaß, Vermutungen über die Fortsetzung der Sackung des Moores auszusprechen.

Doch ist es noch notwendig, die obigen Ergebnisse mit anderswo erhaltenen Werten zu vergleichen, bevor wir zu den Schlußbemerkungen übergehen.

In Schweden veröffentlichte der Direktor der Versuchsanstalt Gisselas des Schwedischen Moorkulturvereins, Agronom *M. Stenberg*,



1935 die Untersuchung «Gisselasmyrens sättning under tioårsperioden 1922–1932», in der er die Ergebnisse seiner sorgfältig ausgeführten Moorsackungsmessungen darstellte. Als ich die Ergebnisse jener Untersuchung in dem Artikel «Om sättning av torvmarkerna» 1936 in der Zeitschrift «Svenska Mosskulturföreningens tidskrift» besprach, zeigte ich, daß die Ergebnisse des genannten Verfassers mit der Formel

$$S = 0,09 \cdot T + 0,12$$

wiedergegeben werden können. Dieser Vergleich ist in Tafel 1 aufgenommen worden.

Sackung des Gisseläs-Moores 1922—1932.

Torfschicht	0-50	60-100	110-150	160-200	210-250	260-300	> 300
Sackung nach <i>Stenberg</i> cm	14	20	24	27	33	38	41
Ber. Sack. cm	15	19	24	28	33	37	42
Untersch. cm	+1	—1	0	+1	0	—1	+1

Tafel 1

In Tafel 1 sind die Unterschiede zwischen berechneter und beobachteter Sackung nur 0—1 cm. Für einen Zeitraum von 10 Jahren würde sich also die eigentliche Sackung durchschnittlich zu 9% der Mächtigkeit des Torflagers und die Abnutzung usw. zu etwa 12 cm berechnen. Die Gisseläs-Moore sind ihrer Beschaffenheit nach teils MC- und CM-Moore, in denen die eigentliche Sackung 6—8% betragen hat, und teils mehr S-haltige Moore, als deren eigentliche Sackung sich 12—16% ergibt, sofern der Faktor *b* in Ermangelung genauerer Angaben bei beiden Gruppen mit 12 cm angesetzt wird.

In Deutschland stützt man sich bei den Moorsackungsschätzungen häufig auf die *Gerhardtschen* Zahlen (*Paul Gerhardt*: Landwirtschaftlicher Wasserbau, 1924, S. 304), über die es in dem angeführten Buch u. a. heißt: «Es ist zu empfehlen, die Schwellen und Fachbäume für feste Bauwerke, Brücken, Durchlässe, Schleusen, Wehre u. dgl. von vornherein so tief zu legen, daß sie der Höhenlage des Moores *nach* dem Setzen genügen. Das Sacken oder Setzen des Moores kann in Moorkultur-Entwürfen — sofern genauere Entwürfe nicht vorliegen — wie folgt angenommen werden» (s. Tafel 2).

Untersuchung der *Gerhardtschen* Sackungszahlen.

Beschaffenheit des Moores Nach den Formeln	Bei einer Mächtigkeit von						
	1 m	2 m	3 m	4 m	5 m	6 m	7 m
1. <i>dicht</i> nach <i>Gerhardt</i> .	0,15	0,24	—	—	—	—	—
$S = 0,08 \times T + 0,08$ .	0,16	0,24	—	—	—	—	—
Unterschied cm . . .	+1	0	—	—	—	—	—
2. <i>ziemlich dicht</i> n. G. .	0,20	0,32	0,43	0,55	—	—	—
$S = 0,11 \times T + 0,10$ .	0,21	0,32	0,43	0,54	—	—	—
Unterschied cm . . .	+1	0	0	-1	—	—	—
3. <i>ziemlich locker</i> n. G. .	0,28	0,44	0,60	0,77	0,94	1,10	—
$S = 0,16 \times T + 0,13$ .	0,29	0,45	0,61	0,77	0,93	1,09	—
Unterschied cm . . .	+1	+1	+1	0	-1	-1	—
4. <i>locker</i> nach <i>Gerhardt</i> .	0,40	0,63	0,87	1,10	1,33	1,57	1,80
$S = 0,23 \times T + 0,18$ .	0,41	0,64	0,87	1,10	1,33	1,56	1,79
Unterschied cm . . .	+1	+1	0	0	0	-1	-1
5. <i>fast schwimmend</i> n. G. .	—	0,90	1,22	1,54	1,86	2,18	2,50
$S = 0,32 \times T + 0,26$ .	—	0,90	1,22	1,54	1,86	2,18	2,50
Unterschied cm . . .	—	0	0	0	0	0	0

Tafel 2

Die oben dargestellte Formel läßt sich in der in Tafel 2 gezeigten Weise an die Sackungszahlen von *Gerhardt* anpassen.

Die *Gerhardtschen* Sackungszahlen können also mit befriedigender Genauigkeit vereinigt werden zu der Formel:

$$S = a (0,080 \cdot T + 0,066),$$

wobei der Multiplikator  $a$  folgende Werte hat:

1. für dicht . . . . .	$a = 1,00$
2. » ziemlich dicht . . . . .	$a = 1,40$
3. » ziemlich locker . . . . .	$a = 2,00$
4. » locker . . . . .	$a = 2,85$
5. » fast schwimmend . . . . .	$a = 4,00$

Nach den *Gerhardtschen* Zahlen könnte man also sagen, daß das eigentliche Sackungsprozent bei den verschiedenartigen Mooren endgültig etwa zwischen 8 und 32% der Torftiefe und der Faktor  $b$  desgleichen etwa zwischen 8 und 26 cm schwankt.

Damit können wir unsere Vergleichung beschließen und als Schlußbemerkung hinzufügen, daß die Frage der Moorsackung noch viele Beobachtungen und Untersuchungen erfordert, bevor Klarheit darüber zu gewinnen ist, wie stark die verschiedenartigen Moore sacken und wie sich die Sackung fortsetzt.

Unter Hinweis auf die oben berührten Hauptfaktoren der Moorsackung kann theoretisch behauptet werden, daß in den Mooren die Sackung oder das Sinken der Erdoberfläche «unaufhörlich» sich fortsetzt. Dies geschieht jedoch in verlangsamendem Tempo.

Doch ist es u. a. auch fernerhin unaufgeklärt, ob sich bei fortgesetztem Anbau des Moores und bei Aufrechterhaltung der vom Anbau beanspruchten zirka 0,8–1,2 m tiefen Entwässerung die Sackung z. B. in der Weise fortsetzt, daß sie im folgenden Jahrzehnt etwa die Hälfte von derjenigen des vorhergehenden ausmacht etc. Danach wäre also die Sackung schließlich praktisch gesehen hauptsächlich nur zirka zweimal so groß wie im ersten Jahrzehnt plus so viel, wie die Wirkung des Faktors  $K$  beträgt. Die Sackung kann jedoch natürlich in irgendeiner anderen Weise vor sich gehen.

## 44. Subsidence of Florida peat soil

By

*B. S. Clayton*, Associate Drainage Engineer, Washington, U. S. A.

The amount and rate of subsidence of Florida peat soil has been determined at intervals of several years since 1916. During that year the Division of Drainage Investigations of the U. S. Department of Agriculture (now the Bureau of Agricultural Engineering) established reference or profile lines on several typical peat areas within the State. Since 1932, the study of the factors causing subsidence has been continued under a cooperative agreement between the U. S. Department of Agriculture and the College of Agriculture of the University of Florida. As most of the data relative to the subsidence of peat soil has been obtained along lines located within the Everglades of Southern Florida a short description of the soil and physical characteristics of this area will be given.

The Florida Everglades contains approximately 2,700,000 acres of peat soil and probably includes the largest saw-grass marsh in the world. The Everglades contain about 80 per cent of all the peat lands of the State. The area is roughly 50 miles wide and 100 miles long and extends from Lake Okeechobee to the Gulf of Mexico. The original elevation near the lake was about 20 feet above mean sea level and the slope from north to south was about 2.5 inches per mile. On both sides there is a low sandy ridge. By far the greater portion of the peat deposit is underlaid by a porous coral or oolitic limestone formation. The remaining portion rests upon sand or marl. The depth of soil varies from 10 to 12 feet near the lake, to a few inches at the lower edge. Before drainage was started the overflow from the lake supplied considerable water to the upper Everglades, but all surplus lake water is now diverted through outlet channels to the ocean.

The drainage of this great body of peat soil was begun on a large scale about 30 years ago. Due to subsidence and the flat topography of the land, gravity drainage did not prove sufficient so in recent years drainage by pumping has become the general practice.

About 100,000 acres of the Everglades are now in use, and by far the greater part of this is located in pumping districts. Very little land can be successfully cultivated without pumping. The depth of water pumped from the areas served will average about 4 feet per year.

The normal annual rainfall is approximately 54 inches and nearly 60 per cent of this falls during the rainy period from June to October, inclusive. During the dry spring months the water table falls to its

lowest levels and fires often sweep over the unused land. The evaporation and transpiration from the cultivated areas is estimated at nearly 4 feet per year.

With the exception of 20,000 acres of „Custard Apple” or plastic muck near the rim of the lake, and a smaller amount of an intermediate type of „willow and elder” land, the Everglades soil is composed of a saw-grass peat. This, in its original state, consists principally of a brown fibrous mass of partially decomposed saw-grass residue which was protected from more complete decomposition by the large amount of water present during the period of its formation which has been estimated at more than 10,000 years. After drainage cultivation, weathering and oxidation gradually transform the top portion of the peat into a true muck. The structure changes into an amorphous mass, the density increases, the color becomes black and the rate of seepage movement through the soil decreases.

When saturated this peat soil is a little heavier than water. When drained that portion of the soil above the water table contains from 75 per cent to 80 per cent of its weight in water. The ash or mineral content of the peat is 10 per cent of the oven-dry weight. The oven-dry weight of that portion of the peat below the normal water table is approximately 8 pounds per cubic foot of field sample.

The following table shows the oven-dry and ash weights of field samples taken from an 8-acre field at the Everglades Experiment Station about 5 miles southeast of Lake Okeechobee. The field has been drained for about 20 years but has been cultivated only the last two years of this period. The samples were taken to depths of 4 feet, in 6-inch sections, and the results are expressed in pounds per cubic foot of field sample. The water table has averaged about 21 inches below the surface. Each 6-inch layer is an average of 16 samples.

Depth in Inches	Oven-dry weight (Pounds)	Ash weight (Pounds)	Ash to oven-dry weight (Per cent)
1 - 6	17.5	1.76	10.1
7 - 12	12.2	1.27	10.4
13 - 18	11.4	2.00	17.5
19 - 24	9.5	1.14	12.0
25 - 30	8.1	0.68	8.4
31 - 36	7.5	0.62	8.3
37 - 42	7.8	0.70	9.0
43 - 48	7.7	0.73	9.5
Averages	10.2	1.11	10.9

The 13- to 18-inch depth in the above table shows a rather high ash content. This is due to a thin layer of about 1.5 inches of plastic muck formed from the residue of succulent water plants. If this is omitted the average ash weight of the saw-grass soil is very close to 10 per cent of the oven-dry weight.

One of the most important considerations in the development of the peat lands of Florida is the ultimate amount of subsidence. The peat deposits over a large part of the Everglades are very shallow and are underlaid with rock. The development of much of this land would therefore be unprofitable as the period of use would not justify the cost of reclamation. The data on the amount and rate of subsidence will be of value in determining what areas should be reclaimed when there is a demand for new land for agricultural use.

The records for several of the deep peat areas have shown subsidence losses of approximately 5 feet within the 20-year period following drainage. The rate of loss is rapid at first but decreases with the elapsed time. One year after drainage the loss in elevation was approximately one foot; for a 5-year period it was approximately 2.6 feet; for a 1-year period approximately 3.5 feet, and thereafter the rate of loss appeared to be 0.12 to 0.14 foot per year. It seems probable that the rate of loss for those areas where the average water table is about two feet below the surface, will average about 0.10 foot per year for the period of 20 to 30 years following drainage.

At the Everglades Experiment Station the subsidence has been approximately 5 feet in 20 years. After 10 years of drainage the rate of loss had fallen to 0.12 foot per year, and there had been no appreciable loss through burning. At two other areas where similar losses were recorded, fires had swept over the peat, but it is believed that these accounted for only a small portion of the loss in elevation.

One of the earliest drained sections of the Everglades is near Davie at the southeastern edge of the peat land. Drainage work was begun there in 1906. The average depth of peat, along a reference line over a mile long, decreased from 3.75 feet in 1916 to 1.90 feet in 1933; a loss of nearly 50% in 17 years. From 1921 to 1933 the rate of loss was 0.10 foot per year. This area is underlaid with sand and marl and during recent years the water table was below the peat deposit much of the time.

Subsidence is principally due to a compacting of the soil following drainage, to a slow oxidation of the peat, and to a permanent shrinkage of the colloidal portion of the soil. Some loss may be due to wind erosion but it is not probable that this is material.

The compacting of the upper layers of the soil results in an increase in density in that portion above the normal water table, to such an extent that the dry weight of the top foot is approximately twice that of a sample from the 2- to 3-foot depth. These results were obtained from peat which had been drained about 20 years. The greater dry weight of the upper two feet of soil is sufficient to account for about 1.8 feet of the 5-foot loss in elevation at the Everglades Experiment Station, leaving over 3 feet which has apparently been completely lost. No data are available relative to the original density of the peat soil before drainage but there is reason to believe that it varied little from top to bottom.

The losses by slow oxidation are due to the action of the aerobic soil bacteria. Carbon dioxide is liberated. A study is now in progress at the Everglades Experiment Station to determine the rate of this



loss as shown by the carbon dioxide concentration in the soil air. This loss appears to be proportional to the depth of the water table.

A portion of the subsidence is due to a shrinkage of the colloidal matter in the peat but the extent of the loss from this cause has not been determined. It is known, however, that after drying, the peat soil will not again absorb the amount of water it would hold originally. The available data indicate that substantially all the subsidence occurs in that portion of the soil above the normal water table, and that the amount of subsidence varies with the depth of the water table.

Records on several areas at the Everglades Experiment Station show the dry weight of the upper 2 feet of soil to be greater on fields long cultivated than on similar fields with little cultivation since drainage. Soil samples from a field cultivated for twelve years, showed an average dry weight of 15 pounds per cubic foot while similar ones from a field cultivated only two years had a dry weight of 12.7 pounds. As the subsidence was the same for each case, the results indicate that the actual soil loss is greater in drained land out of use than in similar land regularly cultivated. This may be due in part to greater oxidation in the undisturbed soil. If additional data support this observation it would follow that peat areas should not be drained long in advance of the demand for additional agricultural lands.

There are now approximately 80,000 acres of land in use in the northern Everglades. Nearly all of this area has lost from 4 to 5 feet in elevation since drainage was begun. The present annual loss is doubtless from 1 to 1.5 inches and this rate of loss will continue probably with a slight decrease during the next ten years. While this is largely an area of deep peat deposits, adjacent land, which will later come into use, have lesser depths of soil and such land should be kept as nearly saturated as possible to conserve it for future use. The rate of loss in the land now in use could be reduced somewhat by maintaining the highest water table consistent with crop requirements. This problem is now being studied at the Everglades Experiment Station by growing various crops on eight half-acre plots having definitely controlled water tables. The indications are that the water table could be held to a depth of 18 inches without retarding the growth of any crops so far grown. Careful subsidence measurements on these plots for the year 1936, indicate that the annual subsidence loss for an 18-inch water table would be approximately 0.8 inch per year. Continued records on these experimental plots will provide much needed data which may be used to determine the ultimate effect of subsidence on the peat areas of Florida.

A mimeographed report by the writer entitled „Subsidence of Peat Soils in Florida” may be had upon application to the Bureau of Agricultural Engineering, U. S. Department of Agriculture, Washington, D. C.



# **VIII. Kalkung und Düngung der Moorböden**

## **Le chaulage et l'engraisement des sols tourbeux**

### **Liming and manuring of peat soils**

#### **45. Fractionation and titration of the acidic constituents of peat**

By

*Irvin C. Feustel*, Washington, U. S. A.

#### *Introduction.*

The relatively high base absorbing capacity of peat or of soil organic matter is well known and the presence of organic constituents possessing certain of the characteristics of true acids has been demonstrated (15).<sup>1)</sup> The elementary composition and equivalent weight of „humic acids” have been the subjects of numerous investigations but the use of neutralization or titration curves as a method of characterization of the acidic constituents of peat has received comparatively little attention (4), (22). These acids are largely colloidal or insoluble in nature and their properties such that the courses of neutralization by inorganic bases are not directly comparable to those of simple or well defined acids. Consequently, the titration curves have been found difficult of interpretation particularly with respect to endpoints. In general, no breaks in the curves characteristic of endpoints have been obtained except in the case of certain humic acid preparations (3), (18). It has been shown that titration methods (7) by means of which breaks were produced in the titration curves of various mineral soils were ineffective when applied to peats or to soils high in content of organic matter.

Analyses have been made of representative varieties of peat with respect to classes of organic constituents such as ether and alcohol

<sup>1)</sup> Numbers in parenthesis refer to „Literature cited”, p. 355.

extracts, cellulose, hemicellulose, lignin, etc. (8), (19), (20), and these data have been of value in relating different peats or in furnishing certain information as to the nature of peat forming processes. This method of organic analysis, however, fails to characterize or differentiate the acidic constituents which are responsible for the highly important properties of base absorption and base exchange. The seat of active base exchange has been ascribed to the lignin complexes (12), (13), (21) or in a more general way to the acid carboxyl and hydroxyl groups present (14).

It was the purpose of this study to adapt a method of titration to the acids of peat as a whole in order to determine the total base combining capacity. It was also the purpose to fractionate the peat organic matter to determine the distribution of acids with respect to dispersibility as colloids and general behavior in alkaline solutions. The information given in this paper is preliminary in character and is intended mainly to demonstrate what are believed to be improved methods by means of which definite generalizations can be made. The recent work of *Anderson and Byers* (2) dealing with colloids of profiles of the great soil groups illustrates the valuable information to be obtained from titration data. The fact that peat finds use as a soil amendment and that considerable areas of peat land are under cultivation justifies a special study of the acidic nature of the organic material.

#### *Description of samples.*

The samples of peat used in this study were selected from a profile collected from an excavation 3 miles north of Huntington Beach, California, and previously described in detail (6). A brief description follows:

Sample No. C 722, depth  $1\frac{1}{2}$  to 6 feet, yellowish to reddish brown, coarsely fibrous tule peat.

Sample No. C 723, depth 6 to 13 feet, brown to dark brown sedimentary fibrous peat.

Sample No. C 724, depth 13 to  $15\frac{1}{2}$  feet, very dark brown sedimentary fibrous peat.

Sample No. C 725, depth  $15\frac{1}{2}$  to 17 feet, very dark brown to black, sedimentary peat, compact and dense in structure.

A soil colloid separated from the  $C_1$  horizon of the Trenary podzol profile from Alger County, Michigan, (2) was kindly furnished for purposes of comparison, by *M. S. Anderson* of this division. The latter sample had been treated with hydrogen peroxide to remove organic matter. All of the samples were used in an air dried condition and ground to pass a 2 millimeter round hole sieve or a 100 mesh (to the inch) sieve depending upon the requirements,

#### *Mechanical separation of colloidal material.*

Peat colloids have previously been extracted (16), (1) as a fraction corresponding to the colloidal material of mineral soils and the method

used was similar to that employed in the case of soils, namely mechanical dispersion in water with the aid of a mild dispersing agent. No claims were made in this connection for the quantitative separation of colloidal constituents from peat and it has become increasingly apparent that such differentiations as were made were not sufficiently fundamental. It is doubtful if a representative portion of the active colloidal constituents can be isolated by the above method. The response of the peat organic colloids to dispersion and separation is quite different from that of inorganic soil colloids.

A test was made of the effectiveness of mechanical dispersion in a somewhat drastic and extreme manner but which, nevertheless, was believed to provide an answer to the question of possible complete dispersion. For this purpose a colloid mill of the grooved-surface type was used. The operation of this mill consists of passing a suspension of material in water between two closely related surfaces, one fixed and the other rotating at high speed. The action is that of dispersion by means of hydraulic shearing rather than by grinding.

Attempts were made to disperse different samples of peat containing varying amounts of fibrous material and significant portions of each were rendered colloidal in particle size after two or more hours treatment in the colloid mill. Continued treatment after the first 2 hours yielded relatively small additional amounts of colloid. Extremely fibrous material tended to choke the mill and could be run through only with great difficulty.

More detailed observations were made in the case of a sedimentary fibrous peat (No. C 723) with reference to its behavior in the colloid mill. This sample had previously been electrodyalyzed to remove bases. Ammonia was added to the suspension during the mill treatment in quantity sufficient to be detected by odor. A total of 31.2 percent of the sample was reduced to colloidal dimensions after 4 hours treatment. The suspension was centrifuged in a small super-centrifuge at half hour intervals to remove the colloid produced. The speed of the centrifuge bowl was approximately 35,000 R. P. M. and gave a product of which the upper limit of particle size was about 2 to 2.5  $\mu$ .

The „colloid” fraction and the „non-colloidal residue” so obtained were separately extracted with a 2% ammonia solution to determine the distribution of the „humic acids” a constituent which is known to be a colloid and which should serve as an index of the effectiveness of dispersion. It was found that of the total ammonia extract in the original sample less than 40% was contained in the „colloid”. However, the weight of the dry ammonia extract amounted to 31.7% of the „colloid” and 24.5% of the „non-colloidal residue” which indicates a tendency for the humic acids to be dispersed by the action of the colloid mill. In other words, the „colloid” was richer in humic acids than the „non-colloidal residue” but not sufficiently so as to indicate any fundamental separation. As evidence of the essential similarity of the two humic acid extracts in the form of their ammonium salts, their respective nitrogen contents were determined and found to be 7.54% in the „colloid” extract and 7.41% in the „non-colloidal residue” extract.

The production of the humic colloids in decayed or partially decayed organic matter such as is found in peat or muck has been largely influenced by bacterial processes. This is in contrast to the manner of formation of mineral soil colloids whereby physical or chemical weathering plays an important part. The soil particles undergo change at their surfaces primarily whereas in the case of organic matter the bacterial activity is not confined to the surface. Hence, organic colloidal products may be imbedded in such a way as to not be readily accessible for mechanical dispersion. Even in the original plant material certain constituents such as lignin exhibit colloidal properties but these obviously cannot be dispersed as free colloids by mechanical means. From these considerations and from the behaviour of peat in the colloid mill it was concluded that any purely mechanical method attempting a fundamental separation of colloidal constituents was not likely to succeed. Accordingly, chemical methods were studied as preliminary treatments to release the imbedded or cemented material, followed by centrifuging and filtration.

### *Fractionation of Peat.*

When peat is treated with sodium hydroxide or ammonia solution a portion of the organic material is dissolved and another portion is dispersed to colloidal dimensions. An exhaustive treatment with an alkaline solution, therefore, will produce three more or less distinct fractions, namely, (a) the material dissolved and separable by filtration through *Pasteur-Chamberland* filters, (b) the colloid separable by centrifuging, and (c) the remaining residue. Presumably, according to this scheme, the colloidal acids (neglecting other constituents) are subdivided on the basis of their sodium salts being dispersable to particle sizes approximating molecular size, or dispersable only to colloidal dimensions. Such fractionation was expected to differentiate two important groups of acids. Sodium hydroxide was used in preference to ammonia because of nitrogen contamination by the latter reagent.

Electrodialysis of peat previous to treatment with sodium hydroxide was found to increase the yield of extract at least in samples containing considerable mineral constituents. For example, an extraction of the tule peat (No. C 722) with 1% NaOH at 70°—75° C., yielded 30.2% humic acid<sup>1)</sup> in the untreated condition and 36.3% after electrodialysis. This sample contained 11.2% ash. Similarly, the sedimentary peat (No. C 725), containing 28.4% ash, yielded 12.6% humic acid in the original state and 30.8% after electrodialysis. These figures illustrate the effect of bases in combination with organic acids in preventing or retarding solution as sodium salts.

The experimental fractionation was carried out as follows. An electrodialyzed sample of peat, usually 75 to 100 grams (air dried, 2 mm. mesh) was placed in a half gallon fruit jar with 1500 cc. of

<sup>1)</sup> The term „humic acid“ refers to the portion of the alkaline extract which is precipitated by hydrochloric acid in excess.

1% NaOH. The mixture was kept at a temperature of 70—75° C., for 18 hours followed by shaking in a shaking machine for another 18 hour period at room temperature. The mixture was then diluted to 4 or 5 liters and centrifuged. Material remaining in the centrifuge bowl was re-suspended in water, agitated in a motor driven stirrer for one-half hour and again centrifuged. This process was repeated several times.

A second treatment of the centrifuged residue was carried out with 1% NaOH in the same manner as the first. The combined centrifugates were filtered with *Pasteur-Chamberland* filters thereby separating the soluble material from the colloid. The soluble material or filtrate was acidified and again filtered to isolate the humic acid fraction. The final resulting fractions of the original peat, consisting of the humic acid, colloid and residue were electro dialyzed, dried at temperatures not exceeding 35 - 10° C., and ground to pass a 100 mesh sieve in preparation for subsequent study.

The above scheme of fractionation may be criticized on the basis that extractions with alkaline solutions are somewhat drastic, cannot be carried to absolute completion and that the quantity dissolved depends upon the strength of alkali used. In order to determine the effects of repeated treatments, two samples were given three successive 18 hour treatments with 1% NaOH. The respective yields of humic acid and colloid are shown in Table 1.

Table 1. Effects of successive 18 hour treatments with 1% NaOH on the yields of humic acid and colloid from electro dialyzed peat.

Sample	Treatment	Yield of Humic Acid <sup>1)</sup> grams	Yield of Colloid grams
Tule Peat No. C 722 <sup>1)</sup>	First Extraction . .	21.80	9.30
	Second » . . .	1.35	1.26
	Third » . . .	0.18	0.70
Sedimentary Fibrous Peat No. C 724 <sup>2)</sup>	First Extraction . .	23.50	13.25
	Second » . . .	2.59	1.55
	Third » . . .	0.73	0.53

The second treatment yielded an amount of humic acid roughly 6% to 11% of the yield of the first treatment, and the third treatment but 2% to 3% of the first. Similar figures apply to the colloid fraction except that the degree of completeness of separation appears to be somewhat less.

<sup>1)</sup> 70 gram sample (air dry).

<sup>2)</sup> 75 gram sample (air dry).

<sup>3)</sup> The term „humic acid” refers to the portion of the alkaline extract precipitated by hydrochloric acid.

Table 2. The effect of varying concentration of NaOH on the yield of humic acid from electrodyalized peat.

Sample	Concentration of NaOH	Yield of Humic Acid		
		First 18 hr. Treatment %	Second 18 hr. Treatment %	Total Extracted %
Tule Peat No. C 722	0,4% Solution	16.8	---	---
	1,0% »	35.8	2.3	38.1
	4,0% »	34.7	1.9	36.6
Sedimentary Peat No. C 725	1,0% Solution	31.6	8.0	39.6
	4,0% »	36.2	5.1	41.3

Table 2 presents data showing the effect of varying concentrations of sodium hydroxide on the yield of humic acid for two samples. Under the given conditions of treatment the 1% solution of NaOH appears to give approximately a maximum yield. At least, stronger solutions failed to give significantly different total yields by repeated extraction. Accordingly, the method of fractionation herein employed possesses some merit and worthy of preliminary study on the basis of the general character of the fractions separated.

#### *Neutralization or titration curves.*

The course of neutralization of the acids in the organic materials was followed by a method essentially as described by *Anderson* (2). A sample (0.3 gram) of electrodyalized material was placed in each of a series of 15 to 20 small *Erlenmeyer* flasks. Freshly boiled distilled water was added in a quantity such that the total volume of solution in each flask, after addition of alkali, would be 10 cc. A 0.1 or 0.2 normal barium hydroxide solution was finally added in successive increments to the series in order to cover the desired pH range. The flasks were tightly stoppered and allowed to stand 48 hours with occasional shaking. At the end of this time pH measurements were made using a glass electrode.

It was found that the titration curves obtained by plotting pH against milliequivalents of base added per gram exhibited no breaks and as such were unsatisfactory for determining the base neutralizing capacity of the whole peat or of any of its fractions. More characteristic curves were obtained, however, by the use of a much wider sample-solution ratio or, in other words, a solution in which the neutralization reaction took place at a much lower initial concentration of base. This condition necessitated a longer time of reaction but resulted in a process which had an apparent endpoint.

The modification of the above described method of titration as finally adopted consisted of using 10 to 30 milligram samples (60 milligrams in the case of the soil colloid) and in having a total solution volume of 40 cc. in each flask. The general practice was to use such



weight of sample as to make the solution approximately 0.001 normal with respect to the total acidity being titrated. A preliminary test to ascertain the approximate neutralizing value was made by setting up a partial series of solutions similar to those used in the titration. Note was taken of the quantity of base required to produce a pink color with phenolphthalein indicator after standing 8 days. A 0.01 normal solution of  $\text{Ba}(\text{OH})_2$  was used in the titrations and was added in appropriate increments.

Titration curves for the sample of sedimentary fibrous peat (No. C 724) and its humic acid fraction are shown in Fig. 1. As indicated in the figure one set of curves represents the neutralization

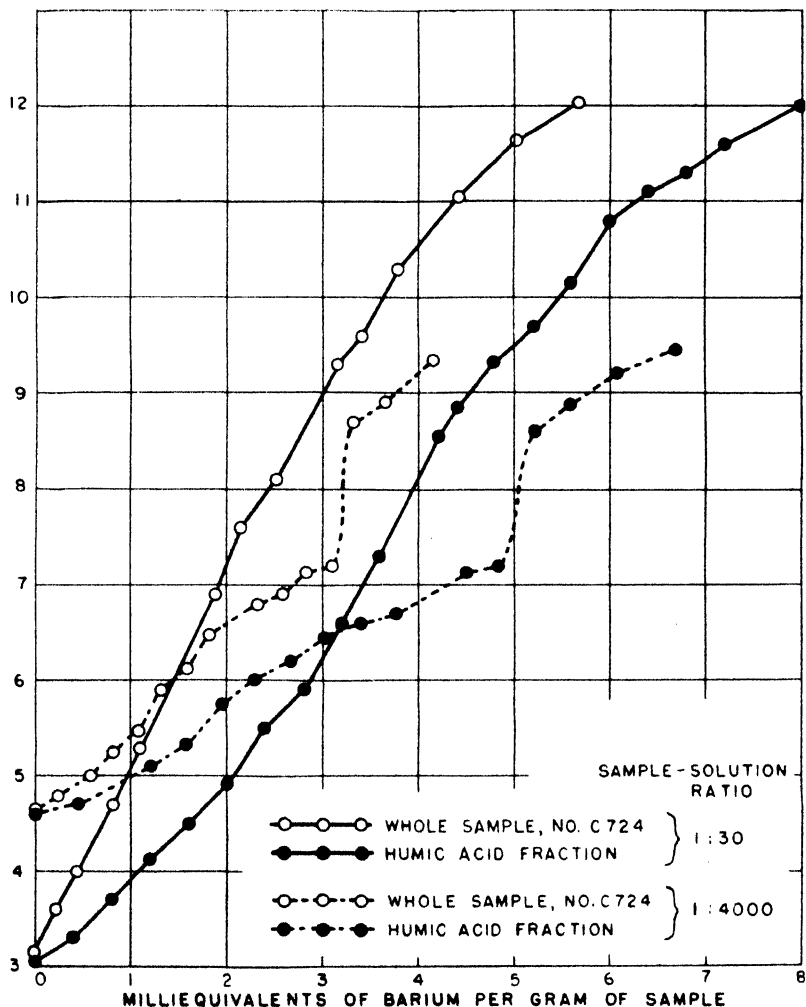


Fig. 1. The electrometric titration of peat and of its humic acid fraction as conducted in concentrated and in dilute solution.

in an initially concentrated alkaline solution and the other as carried out in a very dilute solution. Definite breaks are to be observed in the latter but with no indication of such in the former set of curves. In the case of the entire sample of peat the neutralization values, considering the center of the break as the endpoint of titration, of approximately 3.2 milliequivalents per gram is obtained and for the humic acid a value of 5 milliequivalents per gram.

As previously mentioned the series of flasks in which the reactions of base and organic matter took place in dilute solution were allowed to stand for a period of 8 days. A number of observations with different samples has shown that curves representing periods of time much less than 8 days possess a suggestion of a break but not a very definite

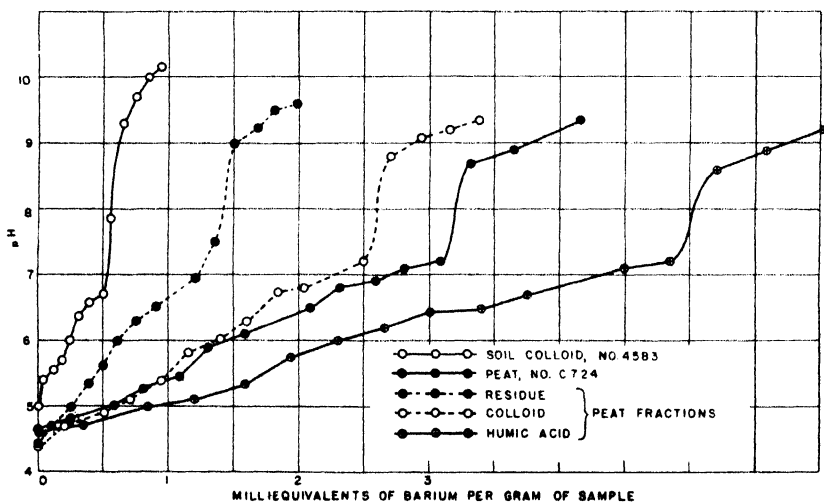


Fig. 2. Titration curves showing the relative base combining capacities of peat fractions and of a soil colloid.

one. Up until the time of about 8 days pH changes were found to be taking place, in a downward direction, rather rapidly in and near the region of the final break. After 10 or 11 days the curves again show a less abrupt break because of slow pH changes in the region beyond the break at pH 9.5 to 10 or higher. The possible reasons for this behavior will be discussed further.

A comparison of a number of titration curves are shown in Fig. 2, including the Trenary soil colloid, a sedimentary fibrous peat and three fractions isolated from the peat. The residual fraction of the peat representing the least acidic of the three organic fractions has a considerable greater base combining capacity than the soil colloid. It is apparent that the acidic constituents of peat are not entirely soluble in alkaline solution or even dispersible as colloid. The most active acids, however, are found in the humic acid fraction.

Titration curves for the tule peat are not presented. These were similar, in general character to those for the sedimentary fibrous

peat shown in Fig. 2 and exhibited definite breaks which are considered to be the neutralization points. The base combining values of the entire sample of tule peat as well as of the individual fractions were found to be somewhat less than those of the sedimentary fibrous peat. The values, taken from the breaks in the titration curves, for each of the two peat samples are recorded in Table 3.

Table 3. Analyses of electrodialed peats and their corresponding fractions.

Sample	Fraction	Per cent of entire sample	Ash content %	Nitrogen <sup>1)</sup> content (Ash free basis) %	Carbon <sup>1)</sup> content (Ash free basis) %	Carbon Nitrogen Ratio C N	Base Neutraliz- ing capacity <sup>2)</sup> m. e. p. gr.
Tule Peat No. C 722	Entire Sample		4.64	2.20	56.98	30.2	2.5
	Colloid	18.1	3.49	2.84	61.14	25.2	2.35
	Humic Acid	37.9	0.74	2.48	58.56	27.6	4.65
	Residue	16.0	16.52	0.84	53.34	74.1	1.15
Sedimentary Fibrous Peat No. C 724	Entire Sample		11.92	2.24	—	—	3.2
	Colloid	24.1	4.55	2.65	63.45	27.9	2.6
	Humic Acid	42.6	0.80	2.15	59.82	32.5	5.0
	Residue	17.3	36.69	1.31	61.62	54.9	1.45

The three fractions as obtained do not represent the entire peat sample. A portion of the organic matter is lost in the precipitation of the humic acid fraction by hydrochloric acid. The material soluble in the acid and separated from the humic acid precipitate was not investigated as to its base combining capacity. This fraction is partly, if not largely, water soluble and contains considerable salt from the neutralization of the sodium hydroxide. Because of its soluble character the electro dialysis of this material was not considered practicable and no further attention was given to it.

A total of 2.4 milliequivalents of base per gram is found by summation of the individual base combining capacities of the three fractions of the tule peat (No. C 722) on the basis of the proportion of the entire sample represented by each fraction (Table 3). The value obtained by titration of the whole sample was 2.5 milliequivalents. Similarly, a summation of the base combining capacities of the fractions of the sedimentary fibrous peat (No. C 724) gives a value of 3.0 and that obtained by titration of the entire sample was 3.2 milliequivalents.

Thus, the fractions account for essentially all of the acidic constituents of the original peat assuming, of course, that the treatment with NaOH in the separation process caused no great alterations in the base combining properties.

<sup>1)</sup> Analyses by W. M. Noble.

<sup>2)</sup> Values taken from breaks in titration curves.

The humic acid fraction of the sedimentary fibrous peat possesses 66.5% of the total acid as found by titration of the whole peat sample. The colloid possesses 19.8% and the residue but 7.8% of the total acid. Corresponding figures for the tule peat are 70.4%, 17.0% and 7.4% respectively. If it were possible to carry the alkaline extraction of the humic acid fraction to absolute completeness the results would probably show still greater concentration of the acidic constituents in the humic acid and colloid fractions.

### *Chemical analyses of peat fractions.*

Analyses as presented in Table 3 indicate that the colloid fraction tends to have the highest carbon and nitrogen content of the three fractions studied. The residue, however, is the more distinctly different with respect to carbon and nitrogen content. It is of interest to note the carbon nitrogen molecular ratios which are relatively low in the colloid and very high in the residue. Sufficient data are not at hand to permit more definite generalizations.

### *Discussion and conclusions.*

An explanation of the differences in the forms of the neutralization curves depending upon whether the titration is carried out in dilute or concentrated solution may be given on the basis of the colloidal character of the material. The neutralization reaction requires time for completion because of the comparatively slow process of penetration of base into the interior of the colloidal particles. A portion of the reaction at the beginning proceeds very rapidly which undoubtedly corresponds to a reaction at the surface of the particles. The rapidity of penetration of base into the colloidal particles together with substitution of internal hydrogen will depend upon the concentration of base in the solution proper. If the pH, or base concentration, is sufficiently high the neutralization proceeds rapidly but it is conceivable that certain secondary reactions may also play an appreciable part in the process such as hydrolysis of complex esters or attack of very weak phenolic groups. The decomposition of organic matter with accompanying formation of carbon dioxide and subsequent precipitation of barium carbonate may also play a part although carbonate determinations on a number of samples did not indicate this to be appreciable. The secondary reactions or continued gradual neutralization of extremely weak acids may be of sufficient extent to account for the absence of breaks in the curves obtained by the usual manner of titration. Such reactions, of a secondary nature, are distinguished from „buffer action” which is primarily an effect of the presence of salts of weakly dissociated acids produced by neutralization (5).

The titration process, as carried out in very dilute solution, is believed to consist simply of the attainment of an equilibrium reaction with the „true” acidity without an appreciable accompaniment of „secondary” reactions which obscure or tend to obscure the endpoint

of titration. The breaks in the titration curves, beginning at about pH 7.2 and extending to pH 8.6—8.8, are considered to be practical endpoints and the neutralization value obtained at the inflection point of the break in each case must, therefore, be a more or less accurate quantitative measure of the acid constituents of the organic matter. Weakly acidic hydrogen which is substituted for base only at pH values above 9.5 or 10 is probably of no importance in soil base exchange phenomena.

Buffer action is indicated quite clearly by the fact that the materials continue to offer resistance to pH change beyond the break. This is shown, for example, to be greater in the humic acid fraction than in the residue or in the soil colloid, and, is entirely in accord with what would be expected in the presence of a salt of a strong base and weak acid.

The fact that the pH continues to change slowly with time in the higher ranges is probably due to secondary reactions such as have been mentioned. The pH values in the lower ranges do not show this drift but remain fairly constant. The slow continued withdrawal of base from a strongly alkaline solution, after apparent neutralization, has been noted in the case of mineral soils (10), (17) as well as by peat or humic acid. *Kawamura* (11), in studies with humic acid, explained this process as being due to „adsorption“. According to this concept, however, as formulated by the *Gibbs* adsorption equation (9) the quantity of dissolved material concentrated at the interface should decrease with increasing temperature. This has not been found to be the case, but rather that elevation of the temperature accelerates the withdrawal of base.

Complex molecules such as comprise the humic acids are probably polybasic in that they contain varying numbers of carboxyl groups. The curves indicate, however, that if this is the case the individual dissociation constants are not sufficiently different to cause abrupt changes in slope of the titration curves. Minor deviations in the curves are probably due to experimental error. Mineral constituents of peat may be of some significance in the neutralization reactions but these must be neglected for the present at least.

The amphoteric nature of the organic matter was not studied. It has been shown (22) that electrodyalyzed peat possesses very slight buffering properties toward hydrochloric acid but certain organic materials are found to pass into the cathode chamber during electrodialysis indicating basic characteristics.

Generalizations cannot as yet be made as to the character of peat acids in relation to profile variations or to type of parent vegetation. Data are now being obtained bearing on these relationships.

#### *Literature cited.*

1. *Anderson, M. S. and Byers, H. G.*: 1933. Character and behaviour of organic soil colloids. U. S. Dept. Agr. Tech. Bull. 377, 32 pp.
2. *Anderson, M. S. and Byers, H. G.*: 1936. Neutralization curves of the colloids of soils representative of the great soil groups. U. S. Dept. Agr. Tech. Bull. 542, 39 pp.

3. *Antipov-Karataev, I. N. and Khainsky, I. A.*: 1935. An investigation of humate-forming processes by means of electrochemical methods. Studies in the Genesis and Geography of Soils. Academy of Sciences of the U. S. S. R., p. 187--211.
4. *Arnd, Th.*: 1931. Zur Kenntnis des Puffervermögens der Moorböden. Ztschr. f. Pflanzenernähr., Düngung und Bodenk. 19 (A), p. 334--342.
5. *Baver, L. D.*: 1931. The nature soil buffer action. Jour. Amer. Soc. Agron. 23, p. 587--605.
6. *Dachnowski-Stokes, A. P.*: 1936. Peat land in the Pacific Coast States in relation to land and water resources. U. S. Dept. Agr. Misc. Publ. 248, 68 pp.
7. *Denison, I. A.*: 1933. Methods for determining the total acidity of soils. U. S. Dept. Com., Bur. Standards Jour. Research 10, p. 413--426.
8. *Feustel, I. C. and Byers, H. G.*: 1930. The physical and chemical characteristics of certain american peat profiles. U. S. Dept. Agr. Tech. Bull. 214, 27 pp.
9. *Gibbs, J. W.* As cited by *Lewis, W. C. McC.*: 1920. A system of physical chemistry. Longmans, Green and Co. 454 pp.
10. *Hissink, D. J.*: 1925. Der Sättigungszustand des Bodens. A. Mineralböden (Tonböden). Ztschr. f. Pflanzenernähr., Düngung u. Bodenk. 1 (A), p. 137--158.
11. *Kawamura, K.*: 1926. Adsorption by humic acid. Jour. Phys. Chem. 30, p. 1364--1388.
12. *McGeorge, W. T.*: 1930. The base exchange property of organic matter in soils. Arizona Agr. Exp. Sta. Tech. Bull. 30, p. 181--213.
13. *Mitchell, J.*: 1932. The origin, nature, and importance of soil organic constituents having base exchange properties. Jour. Amer. Soc. Agron. 24, p. 256--275.
14. *Muller, J. F.*: 1933. Some observations on base exchange in organic materials. Soil Sci. 35: 229--237.
15. *Odén, S.*: 1919. Die Huminsäuren. Kolloidchem. Beihefte 11, p. 75--260.
16. *Powers, W. L.*: 1932. Characteristics of dispersable organic colloids in peats. Jour. Agric. Research 44, p. 97--111.
17. *Saint, S. J.*: 1926. The reaction between soils and hydroxide solutions. Internatl. Soc. Soil Sci. Trans. Comm. 2 (A), p. 134--148.
18. *Scheele, W.*: 1936. Über Humussäuren. III. Über eine Methode zur quantitativen Bestimmung von Humussäuren in Extrakten durch konduktometrische Titration. Kolloid Zeit. 75, p. 73--79.
19. *Thiessen, R. and Johnson, R.*: 1929. An analysis of a peat profile. Indus. and Engin. Chem., Analyt. Ed. 1, p. 216--220.
20. *Waksman, S. A. and Stevens, K. R.*: 1928. Contribution to the chemical composition of peat: I. Chemical nature of organic complexes in peat and methods of analysis. Soil Sci. 26, p. 113--137.
21. *Waksman, S. A. and Iyer, K. R. N.*: 1933. Contribution to our knowledge of the chemical nature and origin of humus: III. The base exchange capacity of „synthesized humus“ (Ligno-Protein) and of „natural humus“ complexes. Soil Sci. 36, p. 57--67.
22. *Wilson, B. D. and Plice, M. J.*: 1933. The buffer capacity of peat soils. Cornell University Agric. Exp. Sta. Memoir 146, 11 pp.

## 46. Retention of manurial constituents by peat

By

*B. D. Wilson and E. V. Staker,*

Cornell University, Ithaca, New York, U. S. A.

An efficient manurial practice is dependent on the fixing power of a soil for plant nutrients. That property as it relates to peat soil is the subject of the present paper. The report deals specifically with the loss of nutritive ions from both bare and planted soil to which different amounts of manurial constituents were added. Plants were grown not with the intention of measuring crop response to manurial treatment but to determine the effect of the plant on the loss in the drainage water, and on the retention by the soil of plant nutrients.

The investigation was conducted in a greenhouse for a period of 5 years. The results of the work have been condensed for this presentation. A more detailed and inclusive report will be published elsewhere.

### *Soil used.*

A woody-fibrous peat soil was used in the investigation. It was collected from the surface zone of a deposit approximately 3 feet deep resting on Chara and shell marl. The upper layer of the deposit was well decomposed and it was dark brown in color. The reaction of the soil was pH 5.2, it was 78 per cent saturated with metallic cations, and it possessed an exchange capacity of 306 milliequivalents in 100 grams of dry soil. On a dry basis the soil contained 16.13 per cent of ash, 2.61 per cent of nitrogen, 0.18 per cent of phosphorus ( $P_2O_5$ ), 0.07 per cent of potassium ( $K_2O$ ), and 6.65 per cent of calcium ( $CaO$ ).

### *Soil containers.*

Galvanized-iron cans were used as soil containers. They were 25 inches deep and  $17\frac{3}{4}$  inches in diameter. The sides of the cans extended below funnel-shaped bottoms making the cans 30 inches high. A small opening, covered with copper gauze, in the center of the bottom of each can allowed the drainage water to pass through a metal pipe to a large glass bottle. The cans mounted on trucks are shown in figure 1.

### *Soil treatment.*

After thoroughly mixing the soil 164 pounds of the moist material, equivalent to 63 pounds in a dry condition, were placed in each of

9 cans. The soil of 3 of the cans received no manurial treatment. The soil of the remaining 6 cans received either 1 increment or 3 increments of fertilization. An increment of fertilization was equivalent to an application of 1000 pounds to the acre of a 4-8-12 fertilizer. Nitrogen was applied in the form of  $\text{NaNO}_3$ , phosphorus in the form of  $\text{CaH}_4(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , and potassium in the form of  $\text{KCl}$ .



Fig. 1: The cans used in the investigation. They are shown mounted on trucks which are used to facilitate weighing to control the moisture content of the soil. The bottoms of the cans were funnel shape. A rim, attached to the sides near the bottom, served as a base.

Calcium was added incidentally with the phosphorus. The salts which were chemically pure were mixed with the upper six inches of soil.

The soil of 3 of the cans remained bare throughout the experiment. That of the other cans was planted each year with spinach and with carrots. Spinach was grown in the autumn and carrots were grown in the spring. During the first 4 years of the work the manurial treatments were made annually. During the fifth year they were made semiannually.<sup>1)</sup> After 3 years of cropping, the fertility level of the unmanured soil was such that plants could not be grown on it. Consequently, 3 increments of fertilization were applied to the soil of cans 4 and 6 at the beginning of the fourth year.

Immediately following the removal of each crop, the soil was leached with distilled water. It was not feasible to leach the soil while the plants were because of the large volume of water involved. The soil of all of the cans was leached with an equal amount of water regardless of the soil treatment. The operation was continued until

<sup>1)</sup> Two applications of fertilization were made during the fifth year because the crop yields on the soil of some of the cans had become greatly reduced. Later it was observed that an infestation of fungi was the cause of the reduced yields.



the volume of drainage water from the can yielding the smallest amount was from 16 and 20 liters.<sup>2)</sup>

Determinations were made of the amounts of the different plant nutrients removed in the drainage water and in the crops. In that way the relative losses of the ions from the soil with respect to treatment were ascertained.

### *Removal of constituents.*

The amounts of the manurial constituents removed during the 5 years of the investigation from the soil in drainage water, and in drainage water and crops, are shown in Table 1. Records for only 4 constituents are presented in the table, namely, nitrogen, phosphorus, potassium and calcium.

Nitrogen was removed in relatively large amounts in the drainage water from the bare soil. The amount of removal was increased somewhat by the addition of 3 increments of fertilization. Almost as much nitrogen was removed in the drainage water from the bare soil as was removed in the drainage water and the crops from the planted. Hence cropping did not result in conserving the nitrogen of the soil.

Phosphorus was present in significant amounts in the drainage water from both the bare and the planted soil. Its removal was largest from the soil receiving 3 increments of fertilization. The amount of phosphorus contained in the drainage water from the bare soil was considerably less than the total amount removed in crops and drainage water combined. But the plants exerted little or no effect on the extent of the removal of the element in the leachings.

Potassium was removed from the soil in larger amounts than was phosphorus but the manner of the removal with respect to soil treatment was similar to that of phosphorus. However, more potassium than phosphorus was applied to the soil and removed in the crops.

Calcium was lost in the drainage water in much larger amount than were any of the other constituents. The amount removed in the drainage water from the bare soil was greatly in excess of the removal from the planted in both the drainage water and the crops. Cropping was attended with a marked conservation of calcium.

### *Gain or loss of constituents.*

During the course of the investigation most of the soil treatments brought about a decrease in the content of the plant nutrients of the soil. The values recorded in Table 2 show that the bare soil receiving 1 increment of fertilization, and both the bare and the planted soil receiving 3 increments, gained in both phosphorus and potassium. The other soil treatments resulted in a loss of each of the

<sup>2)</sup> During the investigation the volume of the drainage water from the bare soil (average, cans 1, 8 and 16) was 292 liters; from the planted soil (average, cans 4, 6, 10, 12, 18 and 19), 174 liters.

Table 1. Removal of manurial constituents from the soil in drainage water, and in drainage water and crops, from 1930 to 1935.<sup>1)</sup> (In grams)

Can	Soil treatment	N		P		K		Ca	
		Drainage	Drainage + crops	Drainage	Drainage + crops	Drainage	Drainage + crops	Drainage	Drainage + crops
1	Bare, no fertilizer . . . . .	29.40	---	0.66	---	6.08	---	65.73	---
4	Planted, no fertilizer. . . . .	16.17	29.41	0.70	2.91	1.20	11.91	41.63	50.13
6	Planted, no fertilizer. . . . .	17.07	30.17	0.62	2.82	1.41	12.51	45.61	54.72
8	Bare, 1 increment . . . . .	28.24	---	0.66	---	6.98	---	66.61	---
10	Planted, 1 increment. . . . .	13.42	32.11	0.66	3.96	1.11	17.23	31.76	43.46
12	Planted, 1 increment. . . . .	13.32	32.25	0.68	3.98	1.17	17.23	34.71	46.89
16	Bare, 3 increments . . . . .	31.60	---	1.48	---	10.55	---	76.57	---
18	Planted, 3 increments . . . . .	14.20	32.27	1.32	4.78	1.25	25.97	41.14	51.91
19	Planted, 3 increments . . . . .	15.11	32.39	1.36	4.57	1.52	25.56	42.87	53.30

Table 2. Gain or loss of manurial constituents by the soil.<sup>1)</sup> (In grams)

Can	Soil treatment	N		P		K		Ca	
		Applied	Gain or loss	Applied	Gain or loss	Applied	Gain or loss	Applied	Gain or loss
1	Bare, no fertilizer . . . . .	---	-29.40	---	-0.66	---	6.08	---	-65.73
4	Planted, no fertilizer. . . . .	2.15	-27.26	1.88	-1.03	5.35	-6.56	1.21	-48.92
6	Planted, no fertilizer. . . . .	2.15	-28.02	1.88	-0.94	5.35	-7.16	1.21	-53.51
8	Bare, 1 increment . . . . .	4.30	-23.94	3.75	-3.09	10.70	-3.72	2.42	-64.19
10	Planted, 1 increment. . . . .	4.30	-27.81	3.75	-0.21	10.70	-6.53	2.42	-41.04
12	Planted, 1 increment. . . . .	4.30	-27.95	3.75	-0.23	10.70	-6.53	2.42	-44.47
16	Bare, 3 increments . . . . .	12.90	-18.70	11.25	-9.77	32.10	-21.55	7.26	-69.31
18	Planted, 3 increments . . . . .	12.90	-19.37	11.25	-6.47	32.10	-6.13	7.26	-44.65
19	Planted, 3 increments . . . . .	12.90	-19.49	11.25	-6.68	32.10	-6.54	7.26	-46.04

<sup>1)</sup> The soil of cans 4 and 6 received 1 application of 3 increments of fertilization.

4 constituents. For corresponding treatments, a larger percentage of the added phosphorus was held in the soil than the added potassium. That calcium was replaced in some degree by potassium is suggested by the gain of potassium in the soil, and by the extent of the loss of calcium from the soil of can 16.

### *Discussion and Summary.*

Although the conditions, under which these experiments were conducted, differed from those of nature, the results disclose the relative retentive property of the soil under different treatments for a number of plant nutrients. Substantially, the findings are in accord with those of *von Feilitzen* (1) who observed the loss of manurial constituents from peat which was subjected in lysimeters to natural weather conditions.

Of the ions discussed in this paper calcium was lost from the soil in largest amount. Its removal in the drainage water was accompanied by a large removal of nitrogen. The loss of nitrogen by the soil was greatly in excess of the amount applied to the soil. On the other hand, much of the phosphorus and the potassium which was applied to the soil was retained. With can 16, 87 per cent and 67 per cent of the applied phosphorus and potassium, respectively, were held by the soil.

Characteristically, the removal of ions from organic soil is much the same as that which has been reported for mineral soils by *Lyon* and *Bizzell* (2) and others. With respect to phosphorus, however, the action of the two types of soils is somewhat different. Mineral soils are reported to absorb phosphorus so tenaciously that only traces of the anion are found in the drainage waters. In the present experiment phosphorus was found to be present in the leachings from organic soil in determinable and significant amounts.

### *References cited.*

1. *von Feilitzen, H., Lugner, J. and Hjerstedt, H.*: Einige Untersuchungen über die mit den Sickerwässern aus unbebautem und mit verschiedenen Kulturpflanzen bebaute Moorboden entstandenen Verluste an Pflanzennährstoffen. *Kulturtechniker* 1912, p. 210-220.
2. *Lyon, T. L. and Bizzell, J. A.*: Lysimeter experiments IV. Records for tanks 17 to 20 during the years 1922 to 1933, and for tanks 13 to 16 during the years 1913 to 1928. *Cornell Univ. Agr. Exp. Sta. Memoir* 194, 1936, p. 1-59.

## 47. Beitrag zur Kalidüngung des Niederungsmoores

Von

*Leo Rinne, Tartu, Estland.*

Hier soll über Untersuchungen, die Kalidüngung der Niederungsmoorwiesen in Estland betreffend, kurz berichtet werden.

Solche Untersuchungen sind vom Estländischen Moorverein und dessen Moorversuchsstation in Tooma in den letzten 15 Jahren ausgeführt worden, wobei auch eine ganze Reihe von Kalidüngungsversuchen auf Niederungsmoorwiesen von mir durchgeführt wurden. Die Niederungsmoore der Moorversuchsstation bestehen in ihrer Oberflächenschicht vorherrschend aus Seggentorf (*Magnocaricetum*), in dem noch verschiedene andere Torfarten (*Phragmiteto*, *Hypneto*, *Ligneto*) mehr oder weniger vertreten sind. Auf den Wiesenflächen dieser Niederungsmoore wurden verschiedene Kalidüngungsversuche eingeleitet, wobei die Versuchsparzellen (Versuchsmomente) mit meistens 5 Wiederholungen versehen sind. Bei der Verarbeitung der Versuchsergebnisse sind die Formeln und Tabellen zur Errechnung des mittleren Fehlers von *W. Zöllner* benutzt worden. Es sind hier nur die errechneten durchschnittlichen Erträge angeführt worden.

Der 1. Versuch ist bereits im Jahre 1922 in einem wenig bis mittelmäßig zersetzten Torf angelegt worden. Alle anderen Versuche, außer dem zweiten, welcher 1928 eingerichtet wurde, sind 1929 begonnen worden. Der Moorboden des 1. Versuchs enthält in der oberen Schicht von 0—20 cm Tiefe (in der Trockensubstanz)  $\text{CaO} = 3,85\%$ ,  $\text{K}_2\text{O} = 0,032\%$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5 = 0,33\%$ ,  $\text{N} = 3,42\%$ , was pro ha berechnet (unter Berücksichtigung des Volumengewichtes) ausmacht: 10 857 kg CaO, 108 kg  $\text{K}_2\text{O}$ , 913 kg  $\text{P}_2\text{O}_5$ , 9 644 kg N. Beim 2. Versuch ist der Torf gut zersetzt und enthält in der oberen Schicht  $\text{CaO} = 4,54\%$ ,  $\text{K}_2\text{O} = 0,02\%$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5 = 0,31\%$ ,  $\text{N} = 3,14\%$ , was je ha ergibt: 18 160 kg CaO, 80 kg  $\text{K}_2\text{O}$ , 1240 kg  $\text{P}_2\text{O}_5$ , 12 560 kg N. Der Torf im 3. Versuch ist mittelmäßig, der im 4. Versuch (ausgeführt von *V. Kübar*) mittelmäßig bis gut zersetzt und enthält:  $\text{CaO} = 5,24\%$ ,  $\text{K}_2\text{O} = 0,22\%$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5 = 0,29\%$ ,  $\text{N} = 2,75\%$ , was je ha ausmacht: 29 925 kg CaO, 1254 kg  $\text{K}_2\text{O}$ , 1653 kg  $\text{P}_2\text{O}_5$ , 15 675 kg N. Beim 5. (ausgeführt von *A. Jaanson*) und 6. (ausgeführt von *W. Sepper*) Versuch ist der Torf wenig bis mittelmäßig zersetzt und enthält in seiner oberen Schicht (20 cm):  $\text{CaO} = 3,77\%$ ,  $\text{K}_2\text{O} = 0,04\%$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5 = 0,28\%$ ,  $\text{N} = 3,62\%$ , was je ha ergibt: 11 008 kg CaO, 117 kg  $\text{K}_2\text{O}$ , 818 kg  $\text{P}_2\text{O}_5$ , 10 570 kg N.

Die Moorwiesen sind stets im Frühjahr gedüngt worden, wonach zwei Schnitte erfolgten: einer Anfang Juli und der andere Anfang September.

Vor dem Beginn der Versuche haben die Wiesen eine reichliche Vorratsdüngung an Kali und Phosphorsäure erhalten.

### *Ergebnisse der Untersuchungen.*

In den folgenden Tabellen sind die errechneten durchschnittlichen Erträge in kg je ha, ihre arithmetischen Mittel und die mittleren Fehler des Mittelwertes enthalten. Die Phosphorsäuredüngung ist als Superphosphat, die Kalidüngung als 40% Kalisalz und die Stickstoffdüngung als Chilesalpeter gegeben worden. In den Versuchen bedeuten in kg je ha:

Beim 1. Versuch P = 60 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K = 45 K<sub>2</sub>O, 2K = 90 K<sub>2</sub>O, 3K = 135 K<sub>2</sub>O, N = 30 N;

beim 2. Versuch P = 36 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K = 30 K<sub>2</sub>O, 2K = 60 K<sub>2</sub>O, 3K = 90 K<sub>2</sub>O;

beim 3. Versuch P = 50 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K = 50 K<sub>2</sub>O, 2K = 65 K<sub>2</sub>O, 3K = 80 K<sub>2</sub>O, N = 30 N;

beim 4., 5. und 6. Versuch P = 30 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K = 60 K<sub>2</sub>O, 2K = 70 K<sub>2</sub>O, 3K = 80 K<sub>2</sub>O, N = 30 N.

Wegen Raum mangels kann hier nicht auf die Versuchsergebnisse der einzelnen Jahre näher eingegangen werden. Deshalb werde ich nur die endgültigen Ergebnisse für die einzelnen Versuche hier kurz zusammenfassen.

#### *1. Versuch.*

Vergleich der Erträge in kg je ha 1922–1936.

	O	P	P + K	P + 2K	P + 3K	P + 3K + N
1922 . . . . .	4645	5233	5451	5854	5700	6550
1923 . . . . .	3369	4225	5119	5152	5317	6732
1924 . . . . .	2922	4162	5847	5980	6325	7037
1925 . . . . .	2932	4611	6416	7309	6875	8204
1926 . . . . .	1994	3764	5691	5303	5185	5730
1927 . . . . .	1141	2111	5965	7176	6654	7123
1928 . . . . .	891	1108	4928	5498	5300	6680
1929 . . . . .	1734	1540	5633	6085	5691	6983
1930 . . . . .	2325	1729	5051	5356	4771	6613
1931 . . . . .	1981	2088	5259	6118	6251	6493
1932 . . . . .	1923	2041	6220	5964	5786	7485
1933 . . . . .	1421	1399	5046	5684	5818	6913
1934 . . . . .	2264	2168	6224	6972	7464	8432
1935 . . . . .	2268	2896	6508	8096	8740	8200
1936 . . . . .	3116	2844	6536	8056	8768	8304
Mittel . . . . .	2328	2795	5726	6307	6310	7165
Mittlerer Fehler) in kg	63	47	86	92	131	146
des Mittelwertes) in %	2,7	1,7	1,5	1,5	2,1	2,0
Vergleich der Erträge)						
in % . . . . .	41,4	48,8	100	110,1	110,1	125,1

Die Höhe der Erträge auf den ungedüngten und nur einseitig mit  $P_2O_5$  gedüngten Versuchsflächen des 1. Versuches sinkt beständig, wobei in besseren Heuernte-Jahren auch hier relativ höhere Erträge zu verzeichnen sind.

Von den mit  $K_2O$  und  $P_2O_5$  gedüngten Versuchsflächen sind bei Gaben von 90 kg  $K_2O$  und 135 kg  $K_2O$  je ha durchschnittlich fast ganz gleich hohe Erträge erzielt worden, wobei mit 90 kg  $K_2O$  ein durchschnittlicher Mehrertrag von 581 kg Heu je Jahr und ha gegenüber 45 kg  $K_2O$  erzielt worden ist. Der durchschnittliche durch die 45 kg  $K_2O$ -Düngung erzielte Mehrertrag beträgt gegenüber der einseitigen Düngung mit  $P_2O_5$  je Jahr und ha 2931 kg Heu. Die Stickstoffdüngung hat einen durchschnittlichen Mehrertrag von 855 kg Heu ergeben.

Eine wesentliche Nachwirkung der Kalidüngung dauert hier ungefähr 4 Jahre an.

## 2. Versuch.

Vergleich der Erträge in kg je ha 1928—1936.

	O	P + K	P + 2 K	P + 3 K
1928 . . . . .	6000	6064	7056	7818
1929 . . . . .	4498	6368	7330	7636
1930 . . . . .	3858	6444	7128	7762
1931 . . . . .	2996	6866	7778	8896
1932 . . . . .	3116	6809	7826	8501
1933 . . . . .	2442	6755	8012	8972
1934 . . . . .	2622	6998	8538	9550
1935 . . . . .	2142	5636	7332	8122
1936 . . . . .	2702	6712	8602	10104
Mittel . . . . .	3375	6517	7845	8629
Mittlerer Fehler } in kg	94	89	133	160
des Mittelwertes } in %	2,8	1,4	1,7	1,9
Vergleich der Erträge } in % . . . . . }	43,0	83,1	100,0	110,0

60 kg haben gegenüber 30 kg  $K_2O$  einen durchschnittlichen Mehrertrag von 1328 kg Heu je Jahr und ha erzielt, dagegen 90 kg gegenüber 60 kg  $K_2O$  nur 784 kg Heu.

Eine wesentliche Nachwirkung der Kalidüngung dauert hier gegen 3 Jahre an.

## 3. Versuch.

Vergleich der Erträge in kg je ha 1929—1936.

	O	P	P + K	P + 2 K	P + 3 K	P + 3 K + N
1929 . . . . .	5005	6025	6225	6055	6080	7465
1930 . . . . .	4070	5585	6095	6445	6465	7100
1931 . . . . .	3630	4925	6620	6730	6805	7235

	O	P + K	P + 2 K	P + 3 K	P + 3 K + N	
1932 . . . . .	2032	3577	6397	6198	6350	6440
1933 . . . . .	1511	2600	5802	5919	6402	6421
1934 . . . . .	1820	3255	6620	7065	7110	7870
1935 . . . . .	2165	3340	5615	6320	6700	7245
1936 . . . . .	3245	4025	6950	7020	7835	8190
Mittel . . . . .	2935	4166	6290	6469	6722	7246
Mittlerer Fehler } in kg	103	102	166	182	171	168
des Mittelwertes } in %	3,5	2,4	2,6	2,8	2,6	2,3
Vergleich der Erträge } in %	45,4	64,4	97,2	100,0	103,9	112,0

Der Moorboden enthält hier selber verhältnismäßig viel Kali, was in besseren Heuernte-Jahren selbst auf den nur einseitig mit  $P_2O_5$  gedüngten Wiesenflächen höhere Heuerträge ermöglicht (4166 kg! in 1936). Der durchschnittliche durch die 50 kg  $K_2O$ -Düngung erzielte Mehrertrag beträgt gegenüber der einseitigen Düngung mit  $P_2O_5$  je Jahr und ha 2124 kg Heu. 65 kg  $K_2O$  haben gegenüber 50 kg  $K_2O$  einen durchschnittlichen Mehrertrag von 179 kg Heu je Jahr und ha ergeben, was sich in den Grenzen des Versuchsfehlers befindet. 80 kg  $K_2O$  erzielen gegenüber 65 kg  $K_2O$  einen unwesentlichen durchschnittlichen Mehrertrag von bloß 253 kg Heu, was nur wenig außerhalb der Grenzen des Versuchsfehlers liegt.

Die Stickstoffdüngung hat einen durchschnittlichen Mehrertrag von 521 kg Heu ergeben, was sich in unseren Verhältnissen nur selten bezahlt macht.

Hier dauert eine wesentliche Nachwirkung der Kalidüngung ungefähr 3 Jahre an.

#### 4. Versuch.

Vergleich der Erträge in kg je ha 1929—1936.

	O	K	P	P + K	P + 2K	P + 3K	P + 3K + N
1929 . . . . .	4867	5423	5521	5902	6036	6102	7188
1930 . . . . .	4378	5091	4679	6468	6749	6785	7125
1931 . . . . .	4063	4571	4725	7032	7255	7279	7806
1932 . . . . .	2729	3919	4239	7078	7618	7778	7167
1933 . . . . .	1446	2820	2804	6241	6036	6657	6662
1934 . . . . .	1720	3240	3110	7030	6970	6970	7010
1935 . . . . .	2570	3690	3660	6840	6940	6800	7050
1936 . . . . .	3120	4750	3830	7280	7630	7410	7210
Mittel . . . . .	3112	4188	4071	6734	6908	6973	7156
Mittlerer Fehler } in kg	103	145	134	140	149	131	118
des Mittelwertes } in %	3,4	3,5	3,3	2,1	2,2	1,9	1,6
Vergleich der Erträge } in % . . . . .	46,2	62,2	60,5	100,0	102,6	103,5	106,3

Der durchschnittliche durch die 60 kg K<sub>2</sub>O-Düngung erzielte Mehrertrag ist hier gegenüber der einseitigen Düngung mit P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> je Jahr und ha 2663 kg Heu. Ganz unwesentlich sind die mit 70 kg K<sub>2</sub>O, 80 kg K<sub>2</sub>O und mit der Stickstoffdüngung erzielten durchschnittlichen Mehrerträge, die je Jahr und ha 174 kg, 65 kg und 183 kg Heu betragen.

Auch bei diesem Versuch ist der Moorboden verhältnismäßig reich an K<sub>2</sub>O und P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Hier dauert eine wesentliche Nachwirkung der Kalidüngung 3–4 Jahre an.

### 5. Versuch.

Vergleich der Erträge in kg je ha 1929–1936.

	O	K	P	P + K	P + 2K	P + 3K	P + 3K + N
1929 . . . . .	4958	4549	4949	5335	5211	5585	5998
1930 . . . . .	5406	5952	5785	6528	6928	6876	7626
1931 . . . . .	3775	3706	4404	5869	5743	5850	5886
1932 . . . . .	3569	4185	4253	6108	6591	6242	6810
1933 . . . . .	2062	2881	2536	5140	5674	5188	5916
1934 . . . . .	2230	4070	2960	6650	7370	7140	7460
1935 . . . . .	2200	3890	3280	6810	6770	6770	6570
1936 . . . . .	2810	4700	2900	7560	7820	7790	8150
Mittel . . . . .	3376	4117	3883	6250	6513	6430	6802
Mittlerer Fehler { in kg	97	109	111	117	133	130	96
des Mittelwertes { in %	2,9	2,6	2,9	1,9	2,0	2,0	1,4
Vergleich der Erträge { in % . . . . .	54,0	65,9	62,1	100,0	104,2	102,9	108,8

Der durchschnittliche durch die 60 kg K<sub>2</sub>O-Düngung erhaltene Mehrertrag beträgt hier gegenüber der einseitigen Düngung mit P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> je Jahr und ha 2367 kg Heu. 70 kg K<sub>2</sub>O haben gegenüber 60 kg K<sub>2</sub>O einen durchschnittlichen Mehrertrag von 263 kg Heu je Jahr und ha ergeben. Die Stickstoffdüngung hat einen durchschnittlichen Mehrertrag von 372 kg Heu ergeben, was sich in unseren Verhältnissen nicht bezahlt macht.

Eine wesentliche Nachwirkung der Kalidüngung ist hier für 4 Jahre festzustellen.

### 6. Versuch.

Vergleich der Erträge in kg je ha 1929–1936.

	O	K	P	P + K	P + 2K	P + 3K	P + 3K + N
1929 . . . . .	6540	6860	7020	7580	8280	8000	8970
1930 . . . . .	4230	4720	4360	5440	5650	6520	6310
1931 . . . . .	3420	4300	4510	6260	6450	6410	6840
1932 . . . . .	2970	3900	3440	5940	6350	6720	6780
1933 . . . . .	1763	2771	2428	5461	5619	6036	6143



	O	K	P	P + K	P + 2K	P + 3K	P + 3K + N
1934 . . . . .	2230	3830	2660	6310	6800	7250	8030
1935 . . . . .	2210	4080	2390	6490	6210	6580	6920
1936 . . . . .	3090	4470	3190	7470	7060	7440	7320
Mittel . . . . .	3370	4366	3750	6369	6552	6870	7164
Mittlerer Fehler } in kg	89	92	116	132	112	132	152
des Mittelwertes } in %	2,7	2,1	3,1	2,1	1,7	1,9	2,1
Vergleich der Erträge } in % . . . . . }	51,9	68,5	58,9	100,0	102,9	107,9	112,5

Der durchschnittliche durch die 60 kg  $K_2O$ -Düngung erzielte Mehrertrag macht hier gegenüber der einseitigen Düngung mit  $P_2O_5$  je Jahr und ha 2619 kg Heu aus. 70 kg  $K_2O$  haben gegenüber 60 kg  $K_2O$  einen durchschnittlichen Mehrertrag von 183 kg Heu ergeben; 80 kg gegenüber 70 kg  $K_2O$  — 318 kg Heu. Die Stickstoffdüngung hat einen durchschnittlichen Mehrertrag von nur 294 kg Heu bewirkt.

Eine wesentliche Nachwirkung der Kalidüngung hat hier 4 Jahre ange dauert.

Im Ergebnis aller Versuche befanden sich die durchschnittlichen von den Wiesenflächen mit 45—60 kg  $K_2O$ -Düngung gegenüber der einseitigen Düngung mit  $P_2O_5$  erzielten Mehrerträge zwischen 2931 kg und 2124 kg Heu je ha und Jahr, wobei 2931 kg (begrifflicher Weise) auf den 1. Versuch fallen, welcher 15 Jahre ange dauert hat.

Die Stickstoffdüngung der Moorswiesen hat sich meist als unrentabel erwiesen.

Eine reichliche Kalidüngung der Niederungsmoorswiesen hat eine wesentliche Nachwirkung ergeben, welche sich auf 3—4 Jahre erstreckt.

### *Botanische Analyse der Wiesenarbe.*

Vor dem ersten Schnitt wurde alljährlich der Bestand der Pflanzennarbe der Moorswiesen für alle Versuche aufgenommen. Die Aufnahme des Bestandes der Wiesenarbe geschieht in Tooma nach meiner Methode, wobei (neben Flächendeckung) hauptsächlich die Häufigkeit des Auftretens einzelner Pflanzen in Stufen von 1—7 vermerkt wird (1. = vereinzelt oder recht wenig; 2. = wenig; 3. = fast mittelmäßig; 4. = mittelmäßig; 5. = viel; 6. = recht viel; 7. = allein vorherrschend). Außerdem wird noch die Dichte der Wiesenarbe nach meiner Methode in Stufen von 1 bis 5 bestimmt. Wegen Raummangels sollen hier nur die Ergebnisse der botanischen Analyse für den 1. Versuch, und nur für 4 Jahre, angeführt werden. Die Versuchsfläche ist seit 1913 kultiviert worden, von 1915 zu einer Moorswiese umgewandelt und darnach als eine solche genutzt worden. 1922 ist etwas *Phleum pratense*, *Festuca pratensis*, *Dactylis glomerata* und *Poa pratensis* nachgesät worden. Um über den Gehalt der Pflanzennarbe an verschiedenen wertvollen Wiesenpflanzen eine Übersicht zu erhalten, sind

## Häufigkeit des Auftretens einzelner Pflanzen in der Wiesennarbe des 1. Versuches.

	O				P				P + K				P + 2K				P - 3K				P + 3K + N			
	1922	1926	1931	1936	1922	1926	1931	1936	1922	1926	1931	1936	1922	1926	1931	1936	1922	1926	1931	1936	1922	1926	1931	1936
<i>Phleum pratense</i> . . . . .	3	3	1	—	3	2	1	—	3	3	1	—	3	3	2	—	3	3	2	1	3	3	1	—
<i>Festuca pratensis</i> . . . . .	5	3	1	—	5	3	—	—	4	3	—	—	5	3	1	—	5	4	—	—	5	4	1	—
<i>Dactylis glomerata</i> . . . . .	1	1	1	1	1	1	—	—	1	1	1	—	1	1	2	—	1	1	2	1	1	1	1	—
<i>Poa pratensis</i> . . . . .	3	1	3	3	3	3	3	4	3	3	4	4	3	3	3	4	3	3	4	3	3	3	4	4
<i>Alopecurus pratensis</i> . . . . .	3	2	1	—	4	2	—	—	4	3	1	—	4	3	1	2	3	2	3	4	3	4	1	1
<i>Bromus inermis</i> . . . . .	5	3	1	1	6	5	2	2	6	6	3	3	6	6	3	5	6	6	4	5	6	6	3	5
<i>Festuca rubra</i> . . . . .	—	4	3	4	—	3	3	5	—	3	3	5	—	2	2	1	—	1	2	2	—	2	2	2
<i>Trifolium repens</i> . . . . .	2	2	—	1	2	1	—	—	1	—	—	—	1	—	—	—	1	—	—	—	1	1	—	—
<i>Ranunculus acer</i> . . . . .	—	—	1	1	—	—	—	—	—	—	1	—	—	—	1	1	—	—	1	1	—	—	1	—
<i>Rumex acetosa</i> . . . . .	2	3	1	1	2	3	1	1	1	2	1	2	1	1	1	3	2	1	2	2	1	1	2	2
<i>Sonchus arvensis</i> . . . . .	3	2	—	—	2	1	—	—	2	1	—	—	1	1	—	—	1	2	—	—	3	3	1	—
<i>Taraxacum officinale</i> . . . . .	1	3	1	1	1	2	—	—	1	3	2	2	1	1	3	2	1	3	3	3	1	2	2	2
<i>Campanula patula</i> . . . . .	1	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	—
<i>Achillea millefolium</i> . . . . .	—	—	1	1	—	—	—	—	—	—	2	—	—	—	2	2	—	—	2	2	—	—	2	2
<i>Geum rivale</i> . . . . .	—	—	1	3	—	—	1	1	—	—	1	2	—	—	1	1	—	—	1	1	—	—	1	1
<i>Lychnis flos cuculi</i> . . . . .	1	2	1	1	1	1	1	—	—	1	1	—	1	1	1	1	—	1	1	—	—	1	1	1

hier die Ergebnisse (Durchschnittswerte) der botanischen Analyse der Wiesennarbe für die Jahre 1922, 1926, 1931 und 1936 angeführt worden.

Vor Beginn des Versuches war der Bestand der Wiesennarbe auf der ganzen Versuchsfläche ein ausgeglichener. Schon im ersten Versuchsjahre (1922) werden durch die verschiedene Düngung der Niederungsmoorwiese Unterschiede in der Pflanzennarbe hervorgerufen, was besonders bei den ungedüngten Wiesenflächen, wo der Gehalt an wertvollen Wiesenpflanzen im allgemeinen zurückgeht, auffällt. Im Jahre 1926 werden diese Unterschiede noch deutlicher. Auch bei den nur einseitig mit Phosphorsäure gedüngten Versuchsflächen ist im allgemeinen ein Rückgang der wertvollen Wiesenpflanzen zu vermerken. Verhältnismäßig gut haben sich auf diesen Flächen *Poa pratensis* und *Festuca rubra* behauptet. *Taraxacum officinale* ist bei Kalimangel auf die Dauer recht empfindlich.

Die Höhe und Sicherheit des Ertrages der Wiese ist vom Bestande und der Dichte der Wiesennarbe abhängig. Für die ungedüngten und nur einseitig mit  $P_2O_5$  gedüngten Wiesenflächen war die Dichte der Wiesennarbe 2; bei allen mit  $K_2O$  und  $P_2O_5$  gedüngten Wiesenflächen betrug dieselbe 4 und durch Hinzufügung von N-Dünger 5.

Bei der Düngung der Niederungsmoorwiese mit Kali und Phosphorsäure ist die durch die Heuernte entnommene Kalimenge der im Dünger gegebenen entsprechend, was aus folgenden durchschnittlichen Ergebnissen der chemischen Analyse des Heues im 1. Versuch zu ersehen ist.

Art der Düngung	P     P + K   P + 2K   P + 3K   P + 3K + N					
In der Düngung $K_2O$ kg/ha. . .	—	—	45	90	135	135
In der Ernte 1928 $K_2O$ kg/ha im Mittel . . . . .	5,7	4,1	44,9	94,8	120,7	136,1
In der Ernte 1929 $K_2O$ kg/ha im Mittel . . . . .	7,7	5,4	45,2	89,0	115,3	127,3

Im geernteten Heu ist somit ungefähr ebensoviel  $K_2O$  festzustellen, wie in der Düngung verabfolgt wurde. Das Kali des von den ungedüngten und nur einseitig mit  $P_2O_5$  gedüngten Flächen geernteten Heues ist dem Kalivorrat des Moorbodens entnommen. Bei recht großen  $K_2O$ -Mengen im Dünger (135 kg je ha) wird nicht mehr die gesamte Kalimenge des Düngers von den Pflanzen aufgenommen. Nur durch die Hinzufügung von N zur Kaliphosphatdüngung können auch hier noch größere Kalimengen von den Pflanzen aufgenommen werden, wonach die Höhe des Ertrages der Moorwiese gesteigert wird.

Bei der Düngung der Niederungsmoorwiesen mit Kali und Phosphorsäure findet, wenn mit viel Kali gedüngt wird, ein *Luxuskonsum* der Wiesenpflanzen an Kali statt, wobei nur eine recht geringe oder gar keine Steigerung des Heuertrages der Wiesen gegenüber geringeren Kaligaben festzustellen ist. So sehen wir z. B. im 1. Versuch, daß 135 kg  $K_2O$  gegenüber 90 kg  $K_2O$  je ha nicht mehr vermocht haben,

eine Ertragsteigerung der Wiese zu erzielen, obgleich hier bei größeren Kalimengen in der Düngung auch bedeutend mehr Kali von den Wiesenpflanzen aufgenommen worden ist. Dementsprechend steigt auch der Gehalt an  $K_2O$  im Heu (absolut trocken berechnet) von 1,73% (bei 90 kg  $K_2O$  je ha in der Düngung) auf 2,40% (bei 135 kg  $K_2O$ ). Der Kalikonsum der einzelnen Pflanzen der Wiesennarbe ist verschieden. Auch hier ist festzustellen (Analyse 1929), daß bei größeren Kaligaben im Dünger mehr Kali von den Pflanzen aufgenommen wird.

Gehalt der Pflanzen (1. Versuch) an  $K_2O$  in der Trockensubstanz in %.

	O	P	P + K	P + 2K	P + 3K	P + 3K + N
<i>Phleum pratense</i> . . . . .	1,03	—	1,26	1,61	1,84	1,95
<i>Dactylis glomerata</i> . . . . .	1,89	—	—	2,19	2,81	3,16
<i>Poa pratensis</i> . . . . .	0,81	0,68	1,22	1,57	1,90	2,11
<i>Festuca rubra</i> . . . . .	0,64	0,76	1,07	1,94	—	—
<i>Bromus inermis</i> . . . . .	—	—	1,13	1,48	1,57	2,02
<i>Alopecurus pratensis</i> . . . . .	—	—	1,47	2,16	2,33	2,70
<i>Geum rivale</i> . . . . .	0,71	—	0,60	1,68	1,86	1,76
<i>Taraxacum officinale</i> . . . . .	3,28	—	2,11	4,41	5,50	5,10

Durch die Düngung der Niederungsmoorwiese mit Kali kann eine Anreicherung des Moorbodens mit demselben stattfinden, was auf eine Festhaltung gewisser Kalimengen des Düngers durch den Boden hinweist. So ist es möglich, bei größeren Mengen von Kali in der Düngung, nachher auch größere Kalimengen im Boden festzustellen, wodurch eine Nachwirkung der Kalidüngung bewirkt wird, welche sich in unseren Versuchen auf 3—4 Jahre erstreckt hat. So finden wir z. B. bei der Analyse des Moorbodens (Probenahme im Herbst nach dem zweiten Schnitt der Wiese, Düngung im Frühling) im 1. Versuch:

Art der Düngung	O	P	P + K	P + 2K	P + 3K	P + 3K + N
In der Düngung $K_2O$ kg/ha .	—	—	45	90	135	135
Im Boden (20 cm Oberflächen- schicht) $K_2O$ kg/ha im Mittel }	112	117	129	152	160	149

Bei den mit N gedüngten Wiesenflächen ist verhältnismäßig weniger  $K_2O$  im Boden zu finden als ohne Stickstoffdüngung, weil hier durch die höheren Erträge auch mehr Kali im Heu der Wiese entnommen wird.

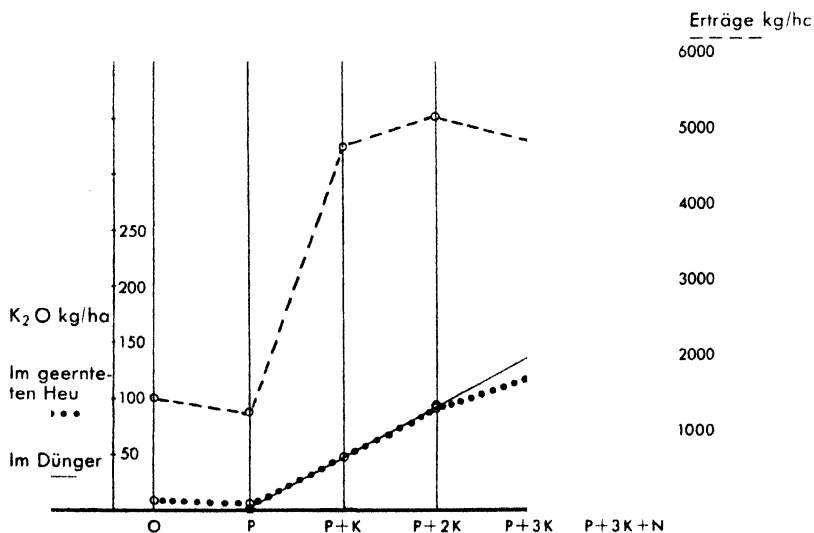
Das Heu ist von den einzelnen Versuchsflächen der verschiedenen Kalidüngungsversuche mehrmals chemisch untersucht worden. Da die Ergebnisse dieser Untersuchungen gut übereinstimmen, führe ich hier nur die Durchschnittszahlen der Analysen für 1929 des 1. Versuches im Mittel an.

# Gehalt des Heus an $\text{CaO}$ , $\text{K}_2\text{O}$ , $\text{P}_2\text{O}_5$ und N in der Trockensubstanz.

Art der Düngung	Höhe des Ertrages absolut trocken kg/ha	CaO		$\text{K}_2\text{O}$		$\text{P}_2\text{O}_5$		N	
		%	kg/ha	%	kg/ha	%	kg/ha	%	kg/ha
O	1474	1,90	27,7	0,52	7,7	0,55	8,1	2,62	38,4
P	1262	2,07	26,2	0,42	5,4	1,59	20,1	2,77	35,2
P+K	4756	1,52	72,4	0,95	45,2	0,89	42,0	1,70	80,5
P+2K	5156	1,26	64,5	1,79	89,0	0,74	38,0	1,47	75,9
P+3K	4834	1,28	61,7	2,40	115,3	0,80	38,4	1,44	69,5
P+3K+N	5950	1,18	69,3	2,13	127,1	0,71	43,8	1,60	94,7

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind aus der Tabelle zu ersehen und bedürfen keiner näheren Besprechung. Es hat den Anschein, daß im kalkreichen Niedermoorboden bei Kalimangel, wie es bei den ungedüngten und nur einseitig mit  $\text{P}_2\text{O}_5$  gedüngten Wiesenflächen festzustellen ist, der Kalk teilweise an Stelle des Kalis in den Wiesenpflanzen treten kann, es somit gewissermaßen zum Teil ersetzend.

**Kalimengen im Dünger und im Heu  
und Erträge pro ha in kg beim 1. Versuch**



Wenn nun alle Ergebnisse der in der Kalidüngungsfrage der Niedermoorwiesen in Estland ausgeführten Untersuchungen berücksichtigt werden, so erweist es sich, daß zur Erzielung eines jährlichen durchschnittlichen Ertrages von 5000 kg Heu (lufttrocken) je ha eine jährliche Gabe von 50 kg  $\text{K}_2\text{O}$  je ha (neben der Phosphorsäuredüngung) in der Ersatzdüngung genügt.

## 48. Über die Düngung der Niederungsmoore mit „Eesti Phosphorit“

Von

*Leo Rinne, Tartu, Estland.*

Für die Düngung der Kulturen auf unserem Niederungsmoorboden stehen uns als  $P_2O_5$ -Dünger hauptsächlich Superphosphat und Eesti Phosphorit zur Verfügung. Die im Dünger dem Moorboden verabfolgte  $P_2O_5$  wird vom Boden bekanntlich gebunden und eine Auswaschung derselben aus dem Boden ist nicht zu befürchten. Schon vor dem Weltkriege sind Rohphosphate (Tricalciumphosphate) verschiedentlich erfolgreich als  $P_2O_5$ -Dünger angewandt worden. Besonders geeignet hat sich Phosphorit bei der Düngung saurer Hochmoorböden erwiesen, weil diese auch nach der angemessenen Kalkung noch immer einen Überschuß an freien, die Phosphorsäure der Rohphosphate aufschließenden Humussäuren besitzen. Es wird jedoch angenommen, daß die Rohphosphate bei der Düngung der Moore nur für die Hochmoorböden in Betracht kommen.

In der kambrischen Schichtenfolge Estlands lagert der Unguliten-Sandstein, in welchem die Muscheln des *Obolus Appollinis* vorkommen. Diese Muscheln bestehen ihrer chemischen Zusammensetzung nach aus phosphorsaurem Kalzium und häufen sich bisweilen in großen Mengen an. Durch größere Anhäufung der Muscheln des *Obolus* im Unguliten-Sandstein wird derselbe in einen phosphorhaltigen Schichtenhorizont, den «Eesti Phosphorit», verwandelt. Gegen 24 km östlich von Tallinn befindet sich beim Dorfe Ülgaste ein Phosphoritlager, dessen Ausdehnung im Glint man ungefähr auf 2 km verfolgen kann. Dort befindet sich ein Betrieb zur Ausbeutung des Phosphorits. Da die unterste Schicht des Lagers am reichlichsten Muscheln des *Obolus* enthält, ist der  $P_2O_5$ -Gehalt dieser Schicht am höchsten, nämlich gegen 21%  $P_2O_5$ . Aufwärts verringert sich der Gehalt des Lagers an  $P_2O_5$  bis zu 13%—11% und weniger. Das Phosphoritlager ist gegen 60 cm mächtig. Da die Phosphorite der Ülgaster Grube nicht zementiert sind, so ist ihre Anreicherung auf mechanischem Wege möglich. Solcher angereicherter Eesti Phosphorit ist im Handel zu haben; er enthält 28—30%  $P_2O_5$ .

Um den Wert des Eesti Phosphorit als  $P_2O_5$ -Dünger für Niederungsmoorkulturen zu prüfen, sind von mir seit 1922 eine ganze Reihe von Untersuchungen zusammen mit Düngungsversuchen in Tooma (der Estländischen Moorversuchsstation) ausgeführt worden, über welche hier kurz berichtet werden soll.

Da es wegen Raummangels unmöglich ist, hier näher auf die Ergebnisse der Untersuchungen und Versuche einzugehen, so wird nur eine kurze zusammenfassende Übersicht über die Durchschnittsergebnisse dieser Arbeiten gebracht, von denen nur ein Teil bisher veröffentlicht worden ist (siehe: *Leo Rinne*, Die Phosphorsäuredüngung der Niedermoorwiesen unter besonderer Berücksichtigung des «Eesti Phosphorits». Beilage der Zeitschrift *Agronomiia* 1928).

Hier folgen nun für alle Wiesendüngungsversuche die errechneten arithmetischen Mittel der Erträge in kg je ha und die mittleren Fehler des Mittelwertes. Bei der Verarbeitung der Versuchsergebnisse sind die Formeln und Tabellen zur Errechnung des mittleren Fehlers von *W. Zöllner* benutzt worden.

### 1. Versuch.

Bei diesem Versuch handelt es sich um einen Niedermoorboden (wenig bis mittelmäßig zersetzter Hypneto-Magnocaricetum-Torf), welcher reich an N und CaO ist, dagegen verhältnismäßig wenig  $P_2O_5$  und recht wenig  $K_2O$  enthält.

Vergleich der Erträge in kg je ha:

		K	K + S	K + Ph
Im Mittel 1922—1927 . . . .		2346	3371	5315
Mittlerer Fehler des	} in kg in %	59	172	237
Mittelwertes . . . .		2,5	5,1	4,5
Vergleich der Erträge in % .		44,1	63,4	100,0
				86,7

O = ungedüngt; K = in den ersten Jahren 100 kg, später 150 kg  $K_2O$  je ha in 40% Kalisalz; S = 49 kg  $P_2O_5$  in Superphosphat; Ph = 51 kg  $P_2O_5$  in Eesti Phosphorit je ha.

Von den mit Kalisalz und Superphosphat gedüngten Versuchsflächen der Wiese ist ein durchschnittlicher Mehrertrag von 1944 kg Heu je Jahr und ha gegenüber den nur mit Kalisalz gedüngten Flächen erzielt worden. Bei der entsprechenden Düngung mit Eesti Phosphorit macht dieser Mehrertrag 1235 kg Heu aus. Somit beträgt hier die Wirkung der  $P_2O_5$  im Eesti Phosphorit ungefähr 63,5% ihrer Wirkung im Superphosphat. In den ersten Jahren nach der Düngung mit Eesti Phosphorit war seine Wirkung verhältnismäßig gering, um erst im (2.) 3. Jahre bedeutender zu werden.

### 2. Versuch.

Hier ist der Torf des Moorbodens mittelmäßig zersetzt und enthält viel N und CaO, recht wenig  $K_2O$  und etwas mehr  $P_2O_5$  als im 1. Versuch. In diesem Versuch wurde den Versuchsflächen 30 kg

$P_2O_5$  im Superphosphat und 33 kg  $P_2O_5$  im Eesti Phosphorit je Jahr und ha gegeben.

Vergleich der Erträge in kg je ha:

	O	K	K + S	K + Ph
Im Mittel 1928—1932 . . . .	1482	1915	6888	6359
Mittlerer Fehler des } in kg	44	73	368	278
Mittelwertes . . . } in %	3,0	3,8	5,3	4,4
Vergleich der Erträge in % .	21,5	27,8	100,0	92,3

Von den mit Kalisalz und Superphosphat gedüngten Wiesenflächen ist hier ein durchschnittlicher Mehrertrag von 4973 kg Heu je Jahr und ha gegenüber den nur mit Kalisalz gedüngten Flächen erzielt worden. Die entsprechende Düngung mit Eesti Phosphorit erzeugte einen Mehrertrag von 4444 kg. So beträgt hier die Wirkung der  $P_2O_5$  im Eesti Phosphorit ungefähr 89,3% der Wirkung derselben im Superphosphat.

### 3. Versuch.

Dieser Niedermoorboden ist recht N- und CaO-reich. Er enthält in der Oberflächenschicht (von 0—20 cm Tiefe) in der Trockensubstanz: CaO=4,54%,  $K_2O$ =0,02%,  $P_2O_5$ =0,31% und N=3,14%, was je ha ausmacht: 18 160 kg CaO, 80 kg  $K_2O$ , 1240 kg  $P_2O_5$  und 12 560 kg N. Somit ist dieser Moorboden auch verhältnismäßig reich an  $P_2O_5$ .

Vergleich der Erträge in kg je ha:

	O	K	K + S	K + T	K + Ph	K + S + Ph
Im Mittel 1928—1936	4039	6199	8209	7904	7546	7566
Mittlerer Fehler } in kg	103	135	145	106	142	110
des Mittelwertes } in %	2,6	2,2	1,8	1,3	1,9	1,5
Vergleich der Erträge in % . . . . .	49,2	75,5	100,0	96,3	91,9	92,2

Hierbei bedeutet: O = ungedüngt, K = 100 kg  $K_2O$  je ha in 40% Kalisalz, S = 27 kg  $P_2O_5$  je ha in Superphosphat, T = 27 kg  $P_2O_5$  je ha in Thomasmehl, Ph = 27 kg  $P_2O_5$  je ha in Eesti Phosphorit, S + Ph = 9 kg  $P_2O_5$  in Superphosphat und 18 kg  $P_2O_5$  in Eesti Phosphorit.

Von den mit Kalisalz und Superphosphat gedüngten Wiesenflächen ist hier ein durchschnittlicher Mehrertrag von 2010 kg Heu je Jahr und ha gegenüber den nur mit Kalisalz gedüngten Flächen erzielt worden. Die entsprechenden Düngungen haben folgende durch-



schnittliche Mehrerträgen ergeben: bei Thomasmehl 1705 kg, bei Eesti Phosphorit 1347 kg und bei Superphosphat + Eesti Phosphorit 1367 kg. Wird die Wirkung der  $P_2O_5$  im Superphosphat als 100,0% angenommen, so beträgt hier die Wirkung der  $P_2O_5$  im Thomasmehl 84,8%, im Eesti Phosphorit 67,0% und in Superphosphat + Eesti Phosphorit 68,0%.

Aus den Ergebnissen der hier angeführten Versuche ersehen wir, daß Eesti Phosphorit bei der Düngung von Niederungsmoorwiesen erfolgreich angewandt werden kann. Gegenüber den nur mit Kalisalz gedüngten Flächen sind in diesen Versuchen mit Eesti Phosphorit bedeutende Mehrerträge erzielt worden, wobei die Wirkung der  $P_2O_5$  in Eesti Phosphorit ungefähr 63,5% bis 89,3% ihrer Wirkung im Superphosphat betrug. Das ist auch wirtschaftlich recht günstig, weil 1 kg  $P_2O_5$  im Eesti Phosphorit mehr als zweimal billiger ist als im Superphosphat.

Bei alljährlich wiederholter Düngung der Niederungsmoorwiese mit Eesti Phosphorit war deren Wirkung anfangs (ungefähr 2 Jahre) verhältnismäßig geringer, um in den folgenden Jahren anzusteigen.

#### 4. Versuch.

Hier ist der Moorboden derselbe wie beim 1. Versuch. In diesem Versuch wurde die Nachwirkung der Phosphorsäuredüngung untersucht, nachdem im Jahre 1922 im Superphosphat 49 kg  $P_2O_5$  und im Eesti Phosphorit 51 kg  $P_2O_5$  je ha der Niederungsmoorwiese gegeben worden war. Von 1923 bis 1927 wurde auf allen Versuchsflächen (die ungedüngten ausgenommen) nur mit Kalisalz gedüngt. Somit ist hier die Nachwirkung der  $P_2O_5$ -Düngung fünf Jahre lang untersucht worden.

Vergleich der Erträge in kg je ha:

	O	K	K + S	K + Ph
Mittel 1923—1927. . . . .	2020	2755	3649	3646
Mittlerer Fehler des } in kg	49	181	150	89
Mittelwertes. . . . } in %	2,4	6,6	4,4	2,3
Vergleich der Erträge in % .	55,4	75,5	100,0	99,9

Aus den Ergebnissen dieses Versuches können wir ersehen, daß es notwendig ist, bei der Düngung der Niederungsmoorwiesen mit Phosphorsäuredünger deren Nachwirkung zu berücksichtigen, wobei hier die Nachwirkung der Düngung mit Eesti Phosphorit im Mittel von fünf Jahren der Nachwirkung der Düngung mit Superphosphat gleich war. Die Nachwirkung der Düngung mit Superphosphat war am größten in den ersten drei, besonders den beiden ersten, der Düngung nachfolgenden Jahren, um sich dann alljährlich rasch zu verringern. Die Nachwirkung der Düngung mit Eesti Phosphorit ist

anfangs geringer als die des Superphosphates, um beginnend mit dem dritten Jahre das Superphosphat in der Nachwirkung zu über-  
treffen.

### 5. Versuch.

Hier ist der Moorboden derselbe wie beim 2. Versuch. Auch in diesem Versuch wurde die Nachwirkung der Phosphorsäuredüngung untersucht, nachdem mehrere Jahre lang auf den entsprechenden Versuchsflächen der Niederungsmoorwiese im Superphosphat 30 kg  $P_2O_5$  und im Eesti Phosphorit 33 kg  $P_2O_5$  je ha gegeben worden waren. Von 1929 bis 1935 wurde auf allen Versuchsflächen (die ungedüngten ausgenommen) nur mit Kalisalz gedüngt. Hier ist also die Nachwirkung der  $P_2O_5$ -Düngung sieben Jahre lang untersucht worden.

Vergleich der Erträge in kg je ha:

	O	K	K + S	Ph
Mittel 1929—1935. . . . .	1183	1534	3492	5591
Mittlerer Fehler des } in kg	47	131	325	144
Mittelwertes . . . } in %	4,0	8,5	9,3	2,6
Vergleich der Erträge in % .	30,5	40,0	100,0	160,1

Die Nachwirkung der Düngung mit Superphosphat war in diesem Versuch in den beiden ersten Jahren am größten, um sich danach bedeutend zu verringern. Beim Eesti Phosphorit ist die Nachwirkung (weil einige Jahre vor Beginn des Versuches alljährlich gegeben) in den ersten 2—3 Jahren des Versuches recht groß, um dann später, zwar geringer als anfangs, aber doch noch befriedigend anzuhalten, wobei die Erträge der Wiese nicht unter 4000 kg je Jahr und ha herabsinken.

Von den mit Kalisalz und Superphosphat (vor 1929) gedüngten Wiesenflächen ist hier ein durchschnittlicher Mehrertrag von 1958 kg Heu je Jahr und ha gegenüber den nur mit Kalisalz gedüngten Flächen erzielt worden. Bei Eesti Phosphorit hat die entsprechende Düngung einen Mehrertrag von 4057 kg ergeben. So beträgt hier die Nachwirkung der  $P_2O_5$  im Eesti Phosphorit ungefähr 207% ihrer Nachwirkung im Superphosphat. Die Ergebnisse dieses Versuches sind nicht einwandfrei, weil die entsprechenden Versuchsflächen vor Untersuchung der Nachwirkung bei der Düngung mit Eesti Phosphorit mit etwas mehr  $P_2O_5$  angereichert worden sind als bei der Düngung mit Superphosphat. Außerdem ist in diesem Versuch der Versuchsfehler ziemlich groß.

Der Bestand der Pflanzennarbe der Wiese ist für alle Versuche alljährlich festgestellt worden. Die botanische Analyse des Bestandes der Pflanzennarbe hat ergeben, daß bei der Düngung der Niederungsmoorwiese mit Eesti Phosphorit der Gehalt an wertvollen Futtergräsern derselbe ist wie bei der Düngung mit Superphosphat.

Aus den Versuchen ist zu ersehen, daß fast die ganze  $P_2O_5$  des Eesti Phosphorits mit der Zeit den Wiesenpflanzen im Niederungsmoorboden zugänglich wird, wobei der Moorboden reich an Kalk war und seine Reaktion von pH = ungefähr 6,3—6,7 betrug. Jedenfalls ist die Wirkung des Eesti Phosphorits von den verschiedenen Eigenschaften des Moorbodens, besonders seiner Reaktion, abhängig, was auch aus folgenden Untersuchungen an Wiesenflächen in Tooma zu ersehen ist:

	Zersetzungsgrad des Torfes im Moorboden (bestimmt nach der Methode von L. Rinne)	Gehalt an CaO in der 0—20 cm Oberflächenschicht kg ha	Reaktion pH	Die Wirkung der Phosphoritdüngung in % der Wirkung der Superphosphatdüngung
1	L <sub>3</sub>	6 510	6,21	94,8
2	L <sub>4</sub>	8 156	6,69	94,1
3	L <sub>5</sub>	14 388	6,93	68,1

Der Zersetzungsgrad des Torfes wird in Tooma nach meiner Methode untersucht, wobei bedeutet:

- L<sub>1</sub> = unzersetzt oder fast unzersetzt.
- L<sub>2</sub> = wenig zersetzt.
- L<sub>3</sub> = fast mittelmäßig zersetzt.
- L<sub>4</sub> = mittelmäßig zersetzt.
- L<sub>5</sub> = ziemlich gut zersetzt.
- L<sub>6</sub> = gut zersetzt.
- L<sub>7</sub> = vollkommen zersetzt.

Es hat den Anschein, daß ein verhältnismäßig reichlicher Gehalt an Kalk im Niederungsmoorboden bei schwachsaurer Reaktion desselben (pH = 6,21 bis pH = 6,69) kein Hindernis für die verhältnismäßig gute Ausnutzung der  $P_2O_5$  des Eesti Phosphorits durch die Wiesenpflanzen bildet. Beim Ansteigen des Kalkgehalts im Moorboden, so daß seine Reaktion sich schon dem Neutralpunkte nähert (pH = 6,93), verringert sich die düngende Wirkung der  $P_2O_5$  des Eesti Phosphorits.

Somit haben die in Tooma ausgeführten Versuche und Untersuchungen ergeben, daß Eesti Phosphorit mit gutem Erfolg auch zur Düngung nur schwachsaurer kalkreicher Niederungsmoore verwandt werden kann, wobei seiner Nachwirkung die größte Bedeutung zukommt. Um schon in den ersten Jahren nach der Düngung der Niederungsmoorwiese mit Eesti Phosphorit eine den Düngerbedarf der Wiesenpflanzen befriedigende Nachwirkung der Düngung zu erhalten, muß daher Eesti Phosphorit anfangs in genügend großer Menge zur Düngung verwandt werden und wenigstens noch im ersten Jahre der Niederungsmoorwiese auch noch etwas Superphosphat gegeben werden.

# 49. Düngung der Moorböden in den ersten und nachfolgenden Jahren der Bewirtschaftung

Von

Prof. Dr. B. *Świętochowski*, Dublany, Polen.

Nach der Melioration tritt bei der Bewirtschaftung in den Moorböden ein Zersetzungsprozeß auf, welcher eine Änderung ihrer chemischen und physikalischen Eigenschaften zur Folge hat. Ohne Zweifel sind die Änderungen sehr tiefgehend, deshalb muß die Ackerwirtschaft in den ersten Jahren der Bewirtschaftung eine andere sein als in den späteren, wenn der Zersetzungsprozeß schon recht weit fortgeschritten ist. Da grundsätzliche Bedingung bei der Moorbirtschaft die Düngerzuführung in Form der fehlenden Nahrungsbestandteile ist, wird zweifellos die Düngungsweise in beiden Perioden nicht gleich sein. *Waksman* (1) stellte fest, daß beim Zerfall der pflanzlichen Substanz weitgehende Umwandlungen eintreten, wobei die Substanzen der organischen Gruppen, welche leichter der Zersetzung anheimfallen, prozentual sich verringern, wogegen sich der prozentuale Anteil der widerstandsfähigen Gruppen vergrößert. Zu ähnlichen Ergebnissen gelangte *Maliutin* (2), welcher eine gleiche Art des Zerfalls bei der Entstehung des Torfes wie auch bei seiner Zersetzung feststellte. Ich führe hier einige Zahlen an, welche aus der Arbeit von *Maliutin* entnommen sind.

Tafel 1 Nach *Maliutin*

Stoffart	Menge der organischen Bestandteile in relativen Zahlen							
	Asche	Benzol	Alkohol	Bitumen	Zellulose	Pentosane	Lignin	Restbestand
80 % Sphagnum und 20 % Eriophorum	1	1	1	1	4,10	5,78	1	2,46
Schwach zersetzter Torf aus dieser Pflanzengattung	1,89	1,88	0,65	0,94	3,51	4,07	1,82	2,22
Mittel zersetzter Torf	0,48	4,73	1,36	2,13	2,58	2,93	3,08	1,02
Gut zersetzter Torf	0,82	6,80	1,56	2,76	1	1	4,65	1

Aus dieser Tafel geht hervor, daß die prozentuale Menge an bitumischen Verbindungen sich mehrfach vergrößert, während Lignin dies fast fünfmal tut, und zwar im Vergleich mit der Menge, welche in der Ausgangsmaterie, also in der torfbildenden Pflanzenwelt, sich befindet. Dagegen vermindert sich die Zellulosemenge prozentual um das Vierfache und die Pentosanemenge fast um das Sechsfache.

fache; schließlich haben wir eine zwei- bis dreifache Menge an zurückgebliebenen organischen Verbindungen, von welchen die Fruchtbarkeit des Torfes in hohem Maße abhängt.

Zu ähnlichen Ergebnissen gelangte *Kivinen* (3), welcher die finnischen Torfe untersuchte. Nach diesen Untersuchungen besitzen die torfbildenden Pflanzen bedeutend größere Mengen an Hemizellulose und Zellulose als die aus ihnen entstehenden Torfe. Durch den Torfbildungsprozeß verkleinert sich die Zellulosemenge und vergrößert sich die Menge an organischen Stickstoffverbindungen und an Lignin. Dieser Prozeß wiederholt sich in gleichem Maße mit der immer vorwärtsschreitenden Humusbildung. Besonders interessant sind die von *Kivinen* gemachten Angaben, welche die Umwandlung des organischen Stickstoffes betreffen. Nach ihm weist der organische Torfstickstoff in sehr hohem Prozentsatz eine schwer lösliche Form auf; dagegen tritt diese in den torfbildenden Pflanzen in geringer Menge auf, dafür reichern sich die leichter löslichen Verbindungen an. Der Humusbildungsprozeß hat eine Verringerung dieser zuletzt besprochenen Verbindungen zur Folge. Es stimmt dies mit meinen Untersuchungen (4) über die Bildung der Nitrate im Torf überein, welche in den Jahren 1932-36 durchgeführt wurden. Diese Untersuchungen und Beobachtungen haben erwiesen, daß die Schnelligkeit der Mineralisation des Stickstoffes sich mit der Vergrößerung der Humusbildung im Torf vermindert.

Ich führe hier einige Zusammenstellungen der bisher veröffentlichten Arbeiten an, und zwar solche, welche im Torfmoore von Czemerne, in der Versuchstation für Torfmoorkultur bei Sarny und in Polesie gemacht wurden.

So wurde z. B. in den Jahren 1933 und 1934 festgestellt, daß der Zuwachs an Nitratstickstoff verschieden war, je nachdem die Beobachtungen auf urwüchsigen, nicht trockengelegtem Moorboden oder auf einem meliorierten und seit einigen Jahren bewirtschafteten Moorboden gemacht wurden. Augenscheinlich war der Grad der Mineralisierung auf einer bewirtschafteten Parzelle größer.

Tafel 2

Jahr 1933. Nitratstickstoffzuwachs

Terrain	Datum der Beobachtung	Anzahl der Tage	Nitratstickstoffzuwachs im mg/l	
			Während der Beobachtungsperiode	Täglich
«Wildes» Moor . . . .	14.—18. VIII.	4	$1,15 \pm 0,24$	$0,29 \pm 0,024$
Kultivierte Moorwiese .	16.—21. VIII.	5	$0,55 \pm 0,85$	$0,11 \pm 0,17$
«Wildes» Moor . . . .	1.—4. IX.	5	1,01	0,31
Kultivierte Moorwiese .	31. VIII.—5. IX.	5	—	0,12 bis 0,35
«Wildes» Moor . . . .	1.—4. IX.	3	1,35	0,45

Tafel 3

Jahr 1934. Nitratstickstoffzuwachs im mg/l Torf

„Wildes“ Moor			Kultiviertes Moor		
Datum der Beobachtung	Während der Periode	Täglich	Datum der Beobachtung	Während der Periode	Täglich
21.-27.VII	$1,87 \pm 0,91$	$0,312 \pm 0,132$	23.-28.VII	$0,515 \pm 0,015$	$0,103 \pm 0,003$
7.-10.VIII	$0,17 \pm 0,03$	$0,057 \pm 0,011$	4.-10.VIII	$0,519 \pm 0,009$	$0,086 \pm 0,001$
18.-23. VIII	$0,166 \pm 0,561$	$0,283 \pm 0,110$	27.-30.VII	$0,333 \pm 0,061$	$0,111 \pm 0,020$

Die Untersuchungen aus den Jahren 1933 und 1934 ergaben, daß auf der Wiese des « wilden » Torfmoores der Zuwachs an Nitraten im allgemeinen größer war als auf einer bewirtschafteten Wiese. Offenbar gilt dies nicht für die Feldkultur, wo unter dem Einfluß des Pflügens der Mineralisationsprozeß gesteigert wird.

Von den in den Jahren 1932 und 1933 verglichenen Versuchspartzellen waren einige bereits seit dem Jahre 1927 bewirtschaftet (Feldschlag VI), die anderen dagegen erst seit dem Jahre 1930 (Feldschlag XXXVI). Der im Zeitabschnitt der Beobachtungen festgestellte Zuwachs an Nitratstickstoff ist in Tafel 4 zusammengestellt.

Tafel 4

Datum der Beobachtung	Nitratstickstoffzuwachs im mg/l Torf			
	Feldschlag VI, seit längerer Zeit angebaut		Feldschlag XXXVI, neu in Kultur genommen	
	Während der Periode	Täglich	Während der Periode	Täglich
Jahr 1932. Dauerwiese				
27. — 30. VIII.	$1,29 \pm 0,49$	$0,26 \pm 0,05$		
8. — 20. VIII.	—	—	0,55	2,10
12. — 22. VIII.	$2,05 \pm 0,34$	$0,20 \pm 0,02$		
	$2,70 \pm 0,43$	$0,27 \pm 0,05$		
23. — 5. IX.	$2,10 \pm 0,20$	$0,16 \pm 0,01$		
	$0,35 \pm 0,22$	$0,03 \pm 0,02$		
31. VIII. — 9. IX.			$8,8 \pm 2,39$	$0,97 \pm 0,27$
			$15,0 \pm 2,22$	$1,66 \pm 0,25$
Jahr 1933. Gepflügt				
15. — 19. IX.	$3,10 \pm 0,98$	$0,77 \pm 0,21$	$2,6 \pm 1,3$	
19. — 23. IX.	3,8	0,95	$5,7 \pm 1,7$	$1,42 \pm 0,42$
23. — 26. IX.	$1,50 \pm 0,25$	$0,50 \pm 0,25$	$7,0 \pm 0,56$	$2,33 \pm 0,19$
Dauerwiese				
29. IX. — 4. X.		0,09	0,79	0,19
1. — 9. X.		0,13	1,16	0,23
Feldgras				
20. IX. — 4. X.	$0,40 \pm 0,10$	$0,09 \pm 0,02$	$1,1 \pm 0,15$	$0,22 \pm 0,03$

Diese Zahlenwerte weisen darauf hin, daß im Laufe von zwei Beobachtungsjahren auf dem später in Bewirtschaftung genommenen Feldschlag die Bildung der Nitate viel energischer war als auf dem älteren Feldschlag. Augenscheinlich waren diese Unterschiede auf dem gepflügten Ackerfeld viel größer als auf dem Wiesenterrain. Die Abnahme der Nitratbildungsfähigkeit auf einem Niederungsmoore erklären wir uns auf die Weise, daß sich auf einem bewirtschafteten Moore große Mengen an leicht zersetzlichen organischen Verbindungen vorfinden, auf welchen die Humusbildung mit dem Moment einsetzt, in dem das Terrain trockengelegt und der Luftzutritt ermöglicht ist.

Die Ackerwirtschaft beschleunigt diesen Prozeß dergestalt, daß in den nachfolgenden Jahren die Leichtigkeit der Nitratbildung sich verkleinert und damit zugleich auch die Ernteerträge sinken. Ähnliche Ergebnisse zeitigten die Untersuchungen im Jahre 1934 auf dem

Feldschlag XV des Torfmoores in Czemerne, woselbst ein Unterschied zwischen den Feldparzellen auf verschiedener Bewirtschaftungsweise beruhte. Es ist evident, daß je intensiver man die Kultur fortsetzt, um so größer der Torfzerfall ist. Vom Jahre 1927 bis zum Jahre 1933 wurden einige Parzellen des Feldschlages XV nur als Ackerfeld genutzt, während man die anderen nur als Wiesen bewirtschaftete. Im Herbst des Jahres 1933 wurden beide Kulturarten gleichzeitig gepflügt, bebaut und mit Roggen besät.

Tafel 5

*Feldschlag XV. Jahr 1934*

Datum	Nach Wiese extensive Bearbeitung	Nach Acker extensive Bearbeitung	Differenz
	Nitratstickstoffzuwachs in mg pro 1 m. Tag		
6. 12. IV. . . . .	0,123	0,015	0,108
26. IV.—1. V. . . . .	0,850 ± 0,263	0,450 ± 0,244	0,400 ± 0,356
11. V.—15. V. . . . .	0,295 ± 0,042	0,294 ± 0,070	0,001 ± 0,082
21. VI. 26. VI. . . . .	0,296 ± 0,052	0,274 ± 0,050	0,022 ± 0,071
17. 20. VIII. . . . .	0,216 ± 0,073	0,218 ± 0,018	0,002 ± 0,065
10. 11. IX. . . . .	0,337 ± 0,010	0,265 ± 0,031	0,073 ± 0,031
24. 27. X. . . . .	0,337 ± 0,091	0,153 ± 0,027	0,185 ± 0,095

Die Tafel 5 gibt die Beobachtungsergebnisse des Überschusses an Nitratstickstoff. Wir sehen hier einen deutlichen Unterschied in der Menge des Zuwachses an Nitratstickstoff. Im Frühjahr (bis zur Hälfte des Monats Mai) und im Herbst (September und Oktober), in den Zeitabschnitten, in denen die biochemischen Prozesse am energischsten verlaufen, wurde eine sehr starke Reduzierung der Schnelligkeit der Nitratbildung durch größeren Torfzerfall infolge der Ackerwirtschaft festgestellt. Diese Untersuchungen wurden im Feldschlag IV wiederholt, wo auf den einen Streifen im Jahre 1927 eine Wiese angelegt, auf den anderen dagegen Feldkultur getrieben wurde. Die Ergebnisse des Nitratstickstoffzuwachses sind in der Tafel 6 enthalten.

Tafel 6

*Feldschlag IV. Jahr 1934*

Datum	Nach Wiese	Nach Acker	Differenz
	Nitratstickstoffzuwachs in mg pro 1 m. Tag		
30. V.—4. VI. . . . .	1,249±0,478	0,367±0,342	0,882±0,508
3.—7. VII. . . . .	3,792±1,192	0,768±0,272	3,024±1,220
13.—17. VII. . . . .	2,808±1,282	0,289	2,519±1,282
25.—28. VII. . . . .	0,033	—	0,033
8.—11. VIII. . . . .	0,201±0,171	—	0,201±0,171
21.—24. VIII. . . . .	0,549±0,090	0,155±0,030	0,394±0,095
11.—15. IX. . . . .	0,826±0,387	0,161±0,040	0,666±0,388
25.—28. IX. . . . .	0,897±0,410	0,340±0,240	0,657±0,477

Im Jahre 1933 waren überall Kartoffeln angebaut. Das Ergebnis ist ähnlich wie bei den vorangegangenen Untersuchungen. Bei den oben angeführten Untersuchungen war die Vorfrucht verschieden; sie

konnte also ebenfalls auf die Änderung der Nitrifizierung einwirken. Folglich waren die erhaltenen Ergebnisse vom Einfluß des Torfzersetigungsgrades bei verschiedener Bewirtschaftung sowie vom Einfluß der Vorfrucht abhängig.

In der nachfolgenden Untersuchung — durchgeführt im Feldschlag I — wurde der Einfluß der Vorfrucht dadurch ausgeschaltet, daß dort vom Jahre 1928 an alle Streifen als Wiese genutzt wurden. Eine Differenz wiesen dieselben nur hinsichtlich der Bewirtschaftung in den Jahren 1926 und 1927 auf, insofern damals die einen Streifen als Wiesen, die anderen als Acker genutzt wurden. Im Laufe dieser zwei Jahre war auf den letzteren eine intensivere mechanische Kultur, welche verursachte, daß der Torf sich auf diesen Streifen stärker zersetzte.

Die Landstreifen, auf welchen man sofort Wiesen anlegte, nennen wir «rationell bewirtschaftet», und die, auf welchen man erst nach zweijähriger Feldkultur Wiesen anlegte, bezeichnen wir als «unrationell bewirtschaftet». Die Ergebnisse zeigt Tafel 7.

Tafel 7 *Feldschlag I. Wiesen. Jahr 1934*

Datum	Rationell bewirtschaftet	Unrationell bewirtschaftet	Differenz
	Nitratstickstoffzuwachs in mg/l pro Tag		
12.—17. IX. . . . .	0,567±0,138	0,289±0,054	0,278±0,148
26.—29. IX. . . . .	0,197±0,150	0,139±0,046	0,058±0,496
6.—11. X. . . . .	0,660±0,224	0,377±0,099	0,283±0,245

Diese Tafelangaben weisen auf eine energische Bildung von Nitraten auf «rationell bewirtschaftetem», d. h. auf solchem Moore hin, auf dem die Wiese sofort ohne vorhergehende Feldkultur angelegt wurde. Die Beschleunigung der Torfzersetzung bei der Feldkultur im Vergleich mit der Wiesenkultur und die daraus sich ergebende Verkleinerung der Nitratbildungsfähigkeit infolge Anbaus wird durch die mechanische Kultur hervorgerufen. Die Tafel 8 zeigt, wie unter dem Einfluß des mechanischen Anbaus zuerst die Nitrifizierung wächst. Dies führt zur Verminderung der Vorräte an organischen Stickstoffverbindungen, welche nachher leicht mineralisiert werden.

Tafel 8 *Jahr 1934. Nitratstickstoffzuwachs in mg/l und pro Tag*

	vom 9. VIII. bis 13. VIII.	vom 28. VIII. bis 31. VIII.	vom 13. IX. bis 18. IX.	vom 8. X. bis 22. X.
1. Gepflügt 7. VIII. . .	0,265±0,035	0,897±0,323	1,652±0,498	2,150±0,498
2. Gepflügt und gewalzt 10. VIII. . . . .	0,545±0,085	1,147±0,363	1,090±0,364	0,154±0,019
3. Nicht gepflügt . . .	0,445±0,098	0,593±0,130	0,520±0,118	0,035±0,003
Differenz: 1 und 3 . .	0,180±0,104	0,304±0,348	1,132±0,511	2,115±0,498
2 und 3 . . . . .	0,100±0,103	0,554±0,383	0,570±0,402	0,119±0,019



Soviel über die Nitrate; was die Ammonverbindungen anbelangt, so sind dieselben auf den Niederungsmooren deshalb schwer festzustellen, weil sie rasch der Nitrifizierung anheimfallen. Auf Hochmooren, wo eine schwache Nitrifizierung auftritt, können — wie dies die Untersuchungen von Frau *Lohwinow* zeigen — größere Mengen von Ammonverbindungen, insbesondere jedoch nur im Anfangsstadium nach der Trockenlegung, auftreten. Bei der Torfzersetzung erfolgt eine Verminderung der Menge dieser Verbindungen."

Auch die assimilierbare Torfmenge kann sich im Niederungsmoor infolge der Kultur verringern. Direkte Messungen über die Gehaltsänderungen an  $P_2O_5$  infolge der Moorbewirtschaftung besitze ich noch nicht; dagegen liefern indirekte Angaben gewisse Fingerzeige. Auf dem Niederungsmoor in Dublany, das zum Acker- und Pflanzenbau-Institut der Technischen Hochschule zu Lwów gehört, wurde in den ersten zwei Jahren der Moorkultur (1908 und 1909), keine Reaktion auf die  $P_2O_5$ -Düngung festgestellt. Vom Jahre 1910 an reagierten die Pflanzen in stets steigendem Maße auf diese Düngung (Rechenschaftsbericht). Die Erschöpfung des Torfes an  $P_2O_5$  nimmt während der Bewirtschaftung zu; dies zeigte sich ganz besonders auf dem Felde der Versuchsanstalt für Moorkultur bei Sarny, wo der Torf sehr reich an  $P_2O_5$  ist. Die Anfangsjahre 1927 haben den Beweis nicht erbracht, daß die  $P_2O_5$ -Düngung den Ernteertrag erhöht. Es reagierten dagegen auf die Düngung, insbesondere in den späteren Jahren, folgende Pflanzen: Weizen, Gerste, Runkelrübe, sogar Hafer und Wiese.

Tafel 9

Düngung	1930	1932	1933	1934
	Haferernte q/ha			Runkelrübe q/ha
1. $CuSO_4$ . . . . .	-	$18,4 \pm 1,2$	$21,4 \pm 2,5$	$81 \pm 9,0$
2. K + $CuSO_4$ . . . .	$32,9 \pm 0,31$	$20,6 \pm 1,3$	$27,8 \pm 1,2$	$680 \pm 14,4$
3. KP + $CuSO_4$ . . . .	$33,0 \pm 0,77$	$21,6 \pm 1,1$	$29,4 \pm 1,2$	$779 \pm 19,8$
Differenz 3 - 2 . . . .	0,1	1,0	1,6	99

Tafel 10

*Wechselwiese*

Heuertrag in q pro ha im Jahr nach der Anlegung

Düngung	1931	1932	1933	1934	1936
	angel. in 1930	angel. in 1931	angel. in 1932	angel. in 1933	angel. in 1935
K	97,0	98,8	37,0	63,4	58,6
KP	98,1	92,4	34,0	66,8	75,8
KPN	104,0	91,2	44,8	80,8	76,0

Anders gestaltet sich die Kalifrage. Obwohl die Menge dieses Nährstoffes in echten Mooren klein ist, können ihn die vermuddeten und echte Muddeböden in größerer Menge enthalten. In einigen Fällen (nicht immer) kann der Zersetzungs Vorgang in solchen Böden eine gleichzeitig größere Kalimobilisierung hervorrufen, z. B. auf dem Moorboden bei Psia Górka, Blonie.

Mit zunehmender Mineralisierung des Torfes verändert sich gleichfalls ungünstig der Ca-Gehalt und die damit verbundene Bodenreaktion. Die Bodenreaktionsverhältnisse auf «wildem» Moorboden verändern sich nach Trockenlegung und Einführung der Ackerwirtschaft rasch, oftmals sogar bedeutend; diese Änderungen können sich je nach den Eigenschaften des Torfs in der Richtung der Entsäuerung oder der Ansäuerung vollziehen. So fand W. Brenner (7), welcher die Azidität der finnischen Böden untersuchte, daß die Ackerschichte sauer ist, falls die tiefer gelegene Schichte neutral oder schwach sauer ist. Umgekehrt fand er, daß auf saurem Moorboden die bestellbare Schichte von geringerer Azidität ist.

Anläßlich meiner Gefäßversuche mit verschiedenen Torfarten und unabhängig von der Düngung, jedoch ohne CaO-Zusatz, stellte ich nach einem einjährigen Anbau des französischen Raigrases die aus Tafel 11 ersichtliche Veränderung der Bodenreaktion fest.

Tafel 11

Torfart	Hochmoor «Chwoszczewski moch»	Über- gangs- moor «Sarny»	Niederungsmoor				Fluß- mudde «Pińsk»
			«Horniki»	«Cze- merne»	«Mokrans»	«Kolo- dzieño»	
pH am Anfang . . . .	3,8	4,2	5,5	5,2	6,8	6,9	5,8
pH am Ende . . . .	4,12	4,36	5,29	5,1	6,0	6,5	5,8
Unterschiede . . . .	0,32	0,16	0,21	0,1	0,8	0,4	0,0
Zuwachs bzw. Abnahme des pH in mg/10 000 l	820	194	23	13	9,6	1,91	0,0

Bei der Zersetzung der Torfsubstanz treten nicht nur tiefgehende chemische, sondern auch physikalische Veränderungen auf. Im ganzen verlaufen diese Umsetzungen leider unvorteilhaft für die höhere Pflanzenwelt wie auch für die Mikroorganismen, wodurch sie sich auch unvorteilhaft für die Landwirtschaft gestalten. In den oben angeführten Untersuchungen wurde eine Verkleinerung der Bodenwasserkapazität festgestellt.

Tafel 12

Wasserkapazität

Feldschlag	Datum der Beobachtung	Nach Wiese schwächer zersetzt	Nach Acker stärker zersetzt	Differenz
XV	14. X.—3. XI. 1931 . .	294,3±3,5	263,2±5,9	31,1±6,86
III	14. X.—3. X. 1931. . .	355,0±11,6	328,6±4,6	26,4±12,4
I	20. IX. . . . .	329,5	339,8	10,3

Da die Wasserkapazität eng mit der Bodenporosität verbunden ist, so folgern wir daraus, daß die Bodenluftkapazität sich auf ähnliche Weise ändern, d. h. mit der Torfmineralisation abnehmen wird. Noch schlimmer gestaltet sich die Angelegenheit der Torfdurchlässigkeit. Dieselbe vermindert sich wesentlich, was das in Tafel 12 angeführte Experiment vorzüglich veranschaulicht.

Tafel 13

## Durchlässigkeit für Wasser

Datum	Nach Wiese	Nach Acker	Minstdifferenz auf dem Felde nach Acker
	10 cm Wasserdurchgang in		
Feldschlag XV			
8. V.	40'	79'	39'
	48'	137'	89'
26. V.	70'	174'	104'
	80'	159'	79'
29. V.	59'	78'	19'
	70'	253'	183'
Feldschlag III			
4. VI. .	3 h 5'	5 h 58'	2 h 53'
	4 h 23'	5 h 45'	1 h 22'
5. VII. .	14 h 42'	15 h 43'	1 h 1'
	15 h 12'	15 h 47'	35'
2. VIII.	11 h 32'	12 h 44'	1 h 12'
1. IX. .	10 h 12'	12 h 48'	2 h 36'
Feldschlag I			
21. IX. .	10 h	16 h 2'	6 h 2'
	7 h 34'	16 h 40'	9 h 6'
24. IX. .	20 h 27'	18 h 45'	1 h 42'
	4 h 2'	16 h 33'	12 h 31'
25. IX. .	27 h 52'	29 h 36'	1 h 44'
	16 h 51'	16 h 36'	15'
26. IX. .	20 h 47'	20 h 52'	5'
	19 h 47'	19 h 58'	11'
2. X. .	8 h 23'	16 h 22'	7 h 59'
	12 h 51'	24 h 14'	11 h 23'
4. X.	23 h 47'	25 h 3'	1 h 16'
5. X.	27 h 45'	26 h 18'	1 h 27'

Aus dieser Tafel ist zu ersehen, daß mit geringen Ausnahmen die auf dem Felde bestimmte Durchlässigkeit auf den Parzellen nach Acker niedriger war als auf denen nach Wiese, weil der Torf infolge öfterer Bebauung intensiver zersetzt war, wobei die Art dieser Differenz immer dieselbe ist, ganz unabhängig von dem Feldschlag, auf welchem die Durchlässigkeit geprüft wurde, sowie unabhängig vom Feuchtigkeitsgehalt des Bodens. Es ist klar, daß dort, wo der Torf unter dem Einfluß größerer atmosphärischer Niederschläge in höherem Maße bewässert war, ein bedeutend langsames Durchsickern stattfand, als wenn der Torf trocken gewesen wäre. Nichtsdestoweniger fiel die Differenz konstant zuungunsten der Parzellen nach Acker aus.

Weiterhin bilden sich im mineralisierten Torf in der Frühjahrszeit während des Gefrier- und Tauvorganges im Torf Bodenrisse, und diese Erscheinung ruft das sogenannte Ausfrieren der Wintersaat (besonders von Raps) hervor.

Baumann stellte fest, daß auf stark zersetztem Torf der Roggen mehr auswinterte als auf weniger zersetztem, und wir wieder kamen in der Versuchsanstalt für Moorkultur bei Sarny zur Schlußfolgerung, daß der Raps dort, wo er in den ersten Jahren der Torfwirtschaft ausfiel und auswinterte, schon nach mehreren Jahren der Feldwirtschaft, wenn der Torf bereits stark zersetzt war, kein einziges Mal mehr auswinterte.

Tiefgreifende physikalische und chemische Umsetzungen, welche im zersetzten Torf stattfinden, bewirken, daß man nach einigen Jahren der Kultur bei unveränderter Düngung nicht mehr dieselben Ergebnisse erhält. Zur Veranschaulichung führe ich einen meiner vielen in Sarny ausgeführten Versuche an, bei welchen man auf einem der Feldschläge im feldgraswirtschaftlichen Fruchtwechsel alljährlich auf einem anderen Landstreifen eine neue Wiese anlegte. Im zweiten Jahre nach der Anlage gab die Wiese die höchsten Erträge. Die Wiesen erhielten alljährlich die gleiche Düngung. Einen Auszug der Ergebnisse einer Kombination von Parzellen, welche mit Kali, mit Kali und Phosphor und schließlich mit Kali, Phosphor und Stickstoff in immer gleichen Dosen gedüngt werden, zeigt Tafel 10 (siehe Seite 383).

Wie aus der Tafel 10 ersichtlich ist, verringern sich die Erträge mit zunehmender Kultur, wobei lediglich Kali zur Düngung Anwendung fand, und zwar 100 kg  $K_2O$  auf 1 ha. In den nachfolgenden Jahren ist schon ein Zusatz an Phosphor unerläßlich, und in manchen Jahren setzt man noch Stickstoff hinzu, um einen Höchstsertrag zu erzielen. Trotzdem wurden keine Erträge über 100 q aus einem ha erzielt, solche konnte man in den Jahren 1931 und 1932 allein bei Kalidüngung erhalten.

Die oben angeführten Degradierungsprozesse des Torfes verlaufen um so rascher, je intensiver die klimatischen Verhältnisse die Torfzersetzung fördern und je öfter der Ackerboden aufgelockert wird; schließlich hängen sie auch vom Grade der natürlichen Zersetzungsfähigkeit des Torfes ab. Schneller verläuft dieser Prozeß auf einem Erlen-, sowie Muddemoor, langsamer dagegen auf moosigem oder Sphagnummoor.

Alle oben angeführten Schlüsse gelten für sämtliche Moorböden, ganz gleichgültig von welchem Typus. Im Hochmoor reduziert (degradiert) so z. B. die allmähliche Substanzzersetzung die Torfmasse. Ein ähnlicher Vorgang findet auch im Niederungs- oder Erlenmoor statt. Die Degradationsschnelligkeit hängt naturgemäß vom Typus und von den klimatischen Faktoren ab. In wärmerem und trockenerem Klima wird sie schneller verlaufen. Weiterhin ist es klar, daß die Fruchtbarkeit der Moorböden in erster Linie von der Torfart abhängt und erst an zweiter Stelle vom Zersetzungsgrad. Eine Torfmoorqualität soll man also nicht nur nach dem Zersetzungsgrad beurteilen.

Es ist klar, daß die Erscheinung der Verschlechterung der Torfeigenschaften ausschließlich den eigentlichen Torf betrifft, nicht aber die lebende oder halblebende oberflächliche rasenartige Masse, wo die Vertorfungsvorgänge noch nicht eingetreten sind oder erst beginnen. Des weiteren ist es klar, daß in diesem Falle der Zersetzungs Vorgang ganz andere Veränderungen hervorrufen kann.

Das Auftreten der Entartungsvorgänge auf den Urmoorböden kann man mit analogen Vorgängen auf anderen Böden vergleichen. Sämtliche Urböden und Urmoore sind anfangs im allgemeinen fruchtbar, und zwar während längerer oder kürzerer Anbauzeit. Ihre Fruchtbarkeit nimmt jedoch merklich ab, wenn nicht der Mensch auf künstlichem Wege durch sehr intensive Kultivierung und Düngung ihren Wert vergrößert.

### *Literatur.*

1. *Waksman, S. A. and Stevens, K. R.*: Contribution to the chemical composition of peat: V. The role of microorganismus in peat formation and decomposition. *Soil Sci.* 1929, 28.
2. *Maliutin, W. N.*: O chemiczeskom sostawie torfa w razlitschnych stadjach jewo obrazowanja. *Trudy Nauczno-issljedowatielskowo Torfianowo Instituta* 1928.
3. *Kivinen, E.*: Über die organische Zusammensetzung der Torfarten und einiger Torfkonstituenten. *Maatalouskoehtoksen Maatutkimusorsto Agricolo gisia Julkaisuja.* 1934. Nr. 36.
4. *Świętochowski, B.*: *Inżynierja Rolna.* 1932, 2-3.  
*Świętochowski, B.*: *Roczniki Nauk Rolniczych i Leśnych.* T. XXXIII, 1934.  
*Świętochowski, B.*: *Rocznik Łąkowy i Torfowy.* Tom I z. 1. 1935.  
*Świętochowski, B. i Krygiel, B.*: *Rocznik Łąkowy i Torfowy* T. z. 2. 1936.
5. *Lohwinowa*: *Trudy Naucznowo Instituta po udobrienji.* Moskwa 1929, Nr. 56.
6. *Reincke, R.*: Untersuchung über die Mineralisation des Humusstickstoffs unter wachsenden Wiesenbeständen auf Niederungsmoorboden. *Zentralblatt Bakt.* Abt. II. 81. 1930.
7. *Brenner, W.*: The reaction of the cultivated soils in Finland. *Bulletin of the agrogeological institution of Finland* Nr. 21.

## 50. Effect of rainfall and of substrata upon composition and reaction of the soil waters of Everglades peat land

By

*J. R. Neller*, University of Florida, Belle Glade, U.S.A.

Lack of information relative to the nature of the soil waters in cropped Everglades peat land led to the investigation reported in this paper. Since the peat lies upon a bed of calcareous rock the addition of basic materials is not required to keep the soil acidity low enough for good plant growth. Knowledge that moderate amounts of lime have proved harmful to some crops and that the chlorine content of shallow wells is rather high pointed to the advisability of ascertaining the composition and reaction of the subsoil waters at different depths and at different seasons of the year. It was desired especially to learn whether chlorides tended to accumulate during the dry season of the year to the extent that crop growth might be retarded, particularly when supplied with fertilizer salts carrying soluble chlorides.

The area selected for study is a field on the Everglades Experiment Station farm that had been under water table control for about six years in which the water level has been held at an elevation of 20 to

### RAINFALL IN INCHES

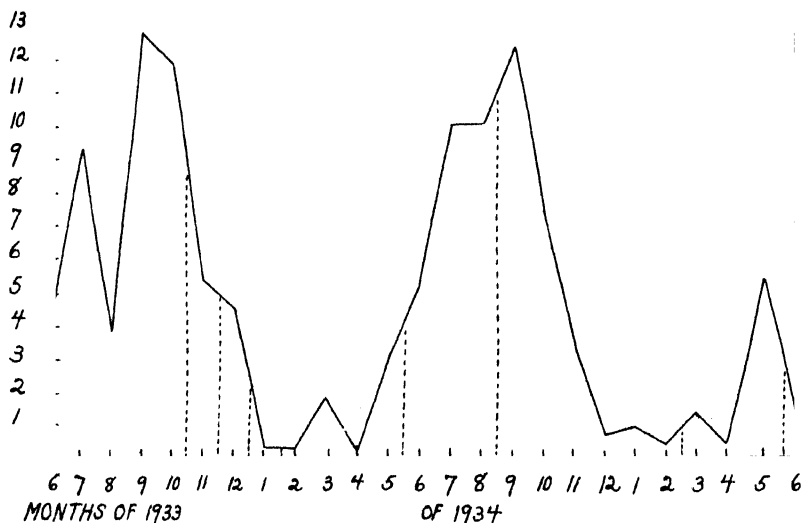


Fig. 1. The rainfall in inches per month from May 1<sup>st</sup>, 1933 to June 1<sup>st</sup>, 1934. The dotted lines show the 8 dates of sampling.

24 inches below the soil surface. The soil is the fibrous brownish black peat derived almost entirely from the decomposition of sawgrass (*Cladium* sp.). Drainage and cultivation have caused the surface layers to break down into a darker more compact mass. The peat is 6 to 7 feet deep and lies upon the bed of limestone that is present beneath the entire peat deposit of the Everglades. One side of the field lies along a highway where a small amount of the peat had been burned by fires previous to the period of cultivation. The effect of this burning is revealed by some of the findings recorded below.

As shown by Fig. 1 the rainfall during the period of these experiments (Dec. 1933 to June 1935) was heavy during June, July, August and September decreasing to comparatively dry periods in December, January, February and March. This distribution is characteristic of the average distribution of rainfall for the region. Most of the samples of soil waters were taken during the contrasting wet and dry periods.

Samples of the sub-surface waters were obtained at four locations extending across the field at intervals of 150 feet beginning near the highway. At two of the locations (1 and 4) three 2-inch iron pipes were sunk vertically into the soil so that the bottom ends extended 3.5, 5.5 and 7.5 feet, respectively, below the soil surface. After placement the soil was removed from the pipes and the water samples were obtained from these wells at various intervals. The deepest of the wells extended a few inches into the marl substrata.

*Soluble chlorides and reaction of upper six inches of soil and of surface layer of soil waters*

Averages for locations 2, 3 and 4

Sampling dates	Cl of soil water	Cl of soil	pH of soil water	pH of soil	Character of period (See Fig. 1)
1933—35	p. p. m.	p. p. m.			
13. 10. 33	36	61	7.03	5.52	End of rainy season.
10. 11. 33	21	28	6.87	5.71	End of rainy season.
12. 12. 33	32	21	6.91	5.38	Beginning of dry season.
12. 1. 34	56	36	7.35	5.35	Dry season.
18. 5. 34	123	10	—	5.30	Beginning of rainy season.
16. 8. 34	53	4	7.02	5.85	Height of rainy season.
12. 2. 35	512	113	7.60	5.56	End of dry season.
17. 5. 35	498	290	6.89	5.23	Extended dry season <sup>1)</sup> .

Table 1

<sup>1)</sup> 6.93 inches fell since the 12. 2. 35 sampling but in scattering showers that caused no leaching from the surface 6 inches.

At each of the four locations additional samples were obtained from the immediate top layer of the ground water by removing a core of soil just deep enough to extend the boring into the water so that a sample could be withdrawn by suction. A sample composited from several borings of the top six inches of the soil was also taken on each sampling date in the vicinity of each of the four locations. These locations were in areas that had not been fertilized. The reactions of soil and water were obtained by means of a quinhydrone electrode. Soluble chlorides of a 4 to 1 water extract of the soil and of the soil waters were determined by electrometric titration against a standardized solution of silver nitrate. The Cl,  $\text{SO}_4$ , CaO and MgO values of the soil waters are those of ions in solution on the parts per million (p. p. m.) per volume basis. Soil chlorides are on the dry weight basis. Conductivity values are given in reciprocal ohms at a temperature of 27° C.

At eight periods during the interval from October 1933 to May 1935 samples were taken of the surface six inch soil layer and of the soil water at the immediate surface of the water table level. Table 1 gives the average of the soluble chlorine and reaction values for the three locations that extended across the field. The fourth location at the edge of the field where soil burning had occurred, as described above, is given separate consideration in Table 2.

A considerable variation was found to exist in the soluble chlorides of the surface soil and soil water in different parts of the field. When the averages are considered for the three locations (Table 1) it is seen that the soluble chlorine content of the soil fluctuated with the amount of rain preceding the date of sampling. Starting at 61 p. p. m. on October 13<sup>th</sup>, 1933 it decreased to 21 p. p. m. until January 1<sup>st</sup>, 1934 when an increase to 36 p. p. m. was obtained. Unfortunately no more samples were taken until May 18<sup>th</sup> by which time considerable rain had fallen (Fig. 1) and the chlorides had fallen to the low concentration of 10 p. p. m. On August 16<sup>th</sup>, the height of the rainy season, an average of only 4 p. p. m. of soluble chlorides was found in the surface 6 inch layer. The next sampling (Feb. 18<sup>th</sup>) was toward the end of the next dry season and the chlorides had increased to 113 p. p. m. The 5.3 inches that fell in April and up to May 17<sup>th</sup> were not sufficient to leach out the chlorides as the average of 290 p. p. m. on that date was the highest obtained during the course of the work.

The chloride content of the uppermost layers of the soil waters fluctuated considerably (Table 1) and appeared to be influenced somewhat by rainfall but more by factors not entirely understood. Thus the highest concentration was found on February 12<sup>th</sup> at which date the chlorides of the upper six inches of soil were also high. At location 1 (Table 2) the soil water chlorides were considerably higher than throughout the rest of the field (Table 1) at all of the dates of sampling except the last two. Additional findings relative to chlorides are presented below.

Data for location 1 are grouped separately in Table 2 which shows that the reaction of the upper six inches of soil for that area was well above a pH of 6 while the reaction of the upper surface of the soil water was on the average also somewhat above those for locations 2,



*Soluble chlorides and reaction of upper six inches of  
soil and of surface layer of soil waters at location 1*

Sampling date	Cl of soil water	Cl of soil	pH of soil water	pH of soil	Character of period (See Fig. 1)
1933—35	p. p. m.	p. p. m.			
13. 10. 33	227	320	7.61	6.20	End of rainy season.
10. 11. 33	110	55	6.83	6.51	End of rainy season.
12. 12. 33	258	100	7.09	6.29	Beginning of rainy season.
12. 1. 34	306	135	6.96	6.14	Dry season.
18. 5. 34	529	141	—	6.20	Beginning of rainy season.
16. 8. 34	271	60	7.13	6.72	Height of rainy season.
12. 2. 35	234	202	7.91	6.51	End of dry season.
17. 5. 35	229	414	7.25	6.53	Extended dry season <sup>1)</sup> .

Table 2

3 and 4 (Table 1). This condition at location 1 was caused by fires that burned some of the peat along the highway preceding the time that the land was placed under cultivation. Other contributing factors are probably those of the presence of the marl dike upon which the highway is built and the water movement upwards out of the marl substrata during the periods of high water level in the Hillsborough canal extending along the other side of the highway. These factors caused the content of soluble chlorides in both soil and water (Table 2) to be considerably higher than those of comparable levels farther away from the highway in locations 2, 3 and 4 (Table 1).

The suggestion that chlorides in the upper layers are affected by a higher concentration of chlorides deeper down leads to a consideration of the nature of the soil waters at lower levels. These data are presented for location 1 in Table 3 and for locations 2, 3 and 4 in Table 4. The lowest depth sampled (7.5 feet) was slightly down in the marl substrata and in the area at a distance from the highway the waters at that level contained, in all cases except one, considerably the highest concentration of chlorides (Table 4). In location 1 the reverse was true as the 3.5 foot level is highest in chlorides (Table 3) except for the sampling of August 16<sup>th</sup> the height of the rainy season (Fig. 1) and to a lesser extent for the sampling of February 18<sup>th</sup>. This high concentration of chlorides in the upper layers of soil water in the area adjacent to the highway points to the influence of the marl dike and the canal behind it.

<sup>1)</sup> 6.93 inches fell since the 12. 2. 35 sampling but in scattering showers that caused no leaching from the surface 6 inches.

*Composition and conductivity of soil  
waters at different depths at location 1*

Sampling dates	Depth <sup>1)</sup>	Cl	SO <sub>4</sub>	Ca O	Mg O	Cond. <sup>2)</sup>
1933—35	feet	p. p. m.	p. p. m.	p. p. m.	p. p. m.	Ohms
12. 12. 33	3.5	676	178	424	164	169
	5.5	288	99	134	76	265
	7.5	147	100	214	100	346
12. 1. 34	3.5	685	206	455	265	171
	5.5	224	105	126	109	260
	7.5	142	258	133	153	253
6. 5. 34	3.5	458	212	455	242	170
	5.5	219	98	180	123	268
	7.5	132	146	235	113	365
16. 8. 34	3.5	99	40	106	34	579
	5.5	312	121	208	88	256
	7.5	163	72	124	68	392
18. 2. 35	3.5	121	100	—	113	367
	5.5	164	124	76	72	328
	7.5	139	106	108	105	345

Table 3

*Composition and conductivity of soil  
waters at different depths at location 4*

Sampling dates	Depth <sup>1)</sup>	Cl	SO <sub>4</sub>	Ca O	Mg O	Cond. <sup>2)</sup>
1933 — 35	feet	p. p. m.	p. p. m.	p. p. m.	p. p. m.	Ohms
12. 12. 33	3.5	93	107	232	96	575
	5.4	98	78	244	64	528
	7.5	160	99	212	96	410
12. 1. 34	3.5	80	114	229	129	570
	5.5	86	118	241	129	520
	7.5	146	100	220	153	450
6. 5. 34	3.5	68	125	165	96	622
	5.5	120	—	196	80	720
	7.5	114	123	220	109	480
16. 8. 34	3.5	19	26	106	22	1960
	5.5	51	30	112	34	975
	7.5	106	178	112	40	760
18. 2. 35	3.5	473	76	239	124	248
	5.5	528	58	240	135	213
	7.5	840	81	336	185	137

Table 4

<sup>1)</sup> The depth below the soil surface.

<sup>2)</sup> Conductivity in reciprocal ohms at 27° C.

The soluble sulfates of the soil waters were in lower concentration, on the average, than those of the chlorides. In location 1 (Table 3) sulfates were lower in the waters lying on the top of the marl than in the peat above. This is probably due to the same causes as discussed above for chlorides. Rainfall did not cause as much fluctuation in sulfates (Table 4) as was the case for chlorides.

Soluble calcium was present in generous amounts at all periods and locations (Tables 3 and 4). In the area near the highway calcium tended to be highest in the upper zone of sampling. This was also true of the chlorides for the reasons discussed above. The average concentration of soluble calcium, given as CaO, for locations 2, 3 and 4 (Table 4) was 213, 226 and 247 p.p.m. for the respective depths of 3.5, 5.5 and 7.5 feet below the soil surface. The effect of heavy rains preceding the sampling of August 16<sup>th</sup> caused a noticeable reduction of calcium at all of the three depths.

Soluble magnesium was present in about one-half the concentration of calcium and appeared to be influenced by the same factors, discussed above, that caused fluctuations in the content of calcium. It might be expected that the magnesium and calcium contents of the upper zones of the soil waters should be reduced following a period of heavy rainfall such as preceded August 16<sup>th</sup> (Table 4 and Fig. 1) but it is not clear why the concentrations of these ions should be reduced in waters lying in the upper layers of the marl itself at the 7.5 foot level. This point appears to need checking by further sampling.

The conductivity values of Tables 3 and 4 provide an estimate of the total concentration of soluble salts in these waters. On the average the conductivities of the samples obtained from the location near the highway (Table 3) were considerably higher than those of the areas recorded in Table 4 and for the probable reasons discussed above. Rainfall preceding the sampling date of August 18<sup>th</sup> caused a marked decrease in the conductivity of the waters even in those in the surface of the marl at the 7.5 foot level. The large increase in the conductivities of the waters from these wells at the next date of sampling (18. 2. 35) shows that the soluble salts of these waters increased during the preceding four months of slight rainfall.

## 51. Zur Frage des Kalkbedürfnisses der Hochmoorböden

Von

Prof. Dr. Fr. Brüne, Bremen, Deutschland.

(Nach neueren Untersuchungen der Preuß. Moor-Versuchsstation in Bremen.)

Die Hochmoorböden haben bekanntlich als typische Vertreter der kalkarmen Moorböden zu gelten. Neben ihrer Kalkarmut ist es aber vor allem ihr Gehalt an freien Säuren — zum allergrößten Teil sind es Humussäuren —, der das Gedeihen von Kulturpflanzen auf rohen Hochmoorböden verhindert. Diese Tatsache wurde schon frühzeitig erkannt und hat schon in den ersten Zeiten wissenschaftlicher Moorforschung zu ausgedehnten Versuchen geführt, den Hochmoorboden durch Zufuhr basisch wirkender Bodenverbesserungsmittel, in erster Linie von Kalk und Mergel, in einen für Kulturpflanzen geeigneten Bodenzustand überzuführen. Fast ebenso alt sind auch die Bemühungen, ein chemisches Verfahren zur Bestimmung der Bodenazidität zu finden, das als Grundlage zur Bemessung der im einzelnen Falle zuzuführenden Kalkmengen dienen konnte. Das zu diesem Zweck an der Moor-Versuchsstation ursprünglich von Br. Tacke ausgearbeitete und später durch seinen Mitarbeiter Th. Arnd ergänzte, unter dem Namen *Tacke-Arnd-Methode* (1) bekanntgewordene Verfahren verfolgt den Grundsatz, die Säuren des Bodens statt durch Auswaschen durch *Neutralisierung* unschädlich zu machen. Und zwar geschieht das in der Weise, daß man die Reaktion zwischen Bodensäuren und Neutralsalzlösung in Gegenwart von kohlensaurem Kalk vor sich gehen läßt. Die bei dieser Arbeitsweise in Freiheit gesetzte Kohlensäure ( $\text{CO}_2$ ) dient dann als Maß für die Gesamtmenge der in einem bestimmten Bodenraum vorhandenen Säuren.

Die praktische Erfahrung hat jedoch sehr bald ergeben, daß die kalkarmen Moorböden trotz ihrer Kalkarmut gegen eine Überkalkung u. U. nicht unempfindlich sind, und daß infolgedessen nicht empfohlen werden kann, den Hochmoorboden bei der Kultivierung völlig zu neutralisieren. Auch für die kalkärmsten der Moorböden, die ausgesprochenen Hochmoorböden, die im unkultivierten Zustande in der Trockensubstanz im Durchschnitt nur 0,35% Gesamtkalk enthalten, wurde die Grenze der optimalen Kalkzufuhr zunächst verhältnismäßig niedrig gesetzt. So war man bis vor noch gar nicht langer Zeit der Ansicht, daß die zuträgliche Kalkmenge in Form von Kalziumoxyd ( $\text{CaO}$ ) bei dauerndem *Ackerbau* auf Hochmoor nur etwa 25%, bei dauerndem *Grünland* (mit Rücksicht auf den stärkeren Anteil von Klee) dagegen 50—60% der Kalkmenge betragen dürfe, die nach dem

Ergebnis der Aziditätsbestimmung zur Neutralisierung des Bodens ausreichen würde. Demgemäß lautete die in erster Linie auf deutsche Moorverhältnisse zugeschnittene Vorschrift der Moor-Versuchsstation schon seit mehr als drei Jahrzehnten, einem chemisch normal zusammengesetzten, rohen Hochmoorboden bei der Urbarmachung 20 bzw. 40—50 dz/ha CaO zuzuführen, je nachdem ob Acker- oder Grünlandsnutzung beabsichtigt war.

Zweifel an der Richtigkeit bzw. Zweckmäßigkeit der für Hochmoor-Ackerkulturen empfohlenen, verhältnismäßig niedrigen Kalkmenge traten in der Hauptsache zum ersten Male während des Weltkrieges in Erscheinung, als das Verschwinden des Chilesalpeters vom deutschen Markt dazu zwang, dieses bis dahin fast ausschließlich im Hochmoor benutzte Stickstoff-Düngemittel nunmehr durch *schwefelsaures Ammoniak* zu ersetzen. Diese Änderung der Stickstoffdüngung hatte, je länger sie durchgeführt wurde, die überraschende Wirkung, daß nicht nur die früher fast regelmäßig beobachteten Überkalkungsschäden stark zurückgingen, sondern daß die gleichen, versuchsweise stärker gekalkten Hochmoorfelder bei der Düngung mit Ammonsulfat auch bei Getreide *durchaus befriedigende Erträge lieferten*. Die Erklärung lag nahe und wurde auch in der Folge als richtig bestätigt, daß das verschiedene Verhalten der beiden genannten Stickstoff-Düngemittel mit ihrer *chemischen Natur ursächlich zusammenhing*. Während die Salpetersäure des Chilesalpeters als Nährstoff von den Kulturpflanzen aufgenommen wird und das basisch wirkende Natron im Boden zurückbleibt, wirkt das schwefelsaure Ammoniak umgekehrt durch die Abspaltung der pflanzenschädlichen Schwefelsäure im Boden *stark versäuernd* und greift infolgedessen den Kalkvorrat auf die Dauer empfindlich an. Der Hochmoorboden verhält sich in dieser Hinsicht zweifellos genau so wie ein Mineralboden, der bei mäßigem Kalkvorrat eine dauernde Düngung mit schwefelsaurem Ammoniak erfahrungsgemäß ebensowenig verträgt und damit in seinen Erträgen mehr oder weniger geschädigt wird.

Auf Grund dieser Beobachtungen wurde schon im Jahre 1930 von *Br. Tacke* (2) die Ansicht vertreten, daß es wahrscheinlich zweckmäßig sein würde, die seit mehr als drei Jahrzehnten seitens der Bremer Moor-Versuchsstation für Hochmoorackerland sozusagen als Standardmenge empfohlene Kalkzufuhr von 20 dz CaO für 1 ha auf 25 bis 30 dz zu erhöhen. Vor allem auch aus dem Grunde, weil früher, besonders bei Hafer und Roggen, fast ausschließlich bodenständige Landsorten angebaut worden seien, die in ihren Ansprüchen an den Kalk- und Reaktionszustand des Hochmoorbodens erfahrungsgemäß recht bescheiden sind. Gelegentliche Anbauversuche mit *Zuchtsorten* hatten aber gezeigt, daß diese vielfach ein etwas *höheres* Kalkbedürfnis besitzen. Immerhin hielt *Tacke* das damals vorliegende Versuchsmaterial noch nicht für ausreichend, um namentlich der Praxis allgemein eine etwas stärkere Kalkung des Hochmoors bei dauernder Ackernutzung anraten zu können. Angesichts der Wichtigkeit, die gerade die Kalkfrage für die praktische Hochmoorkultur besitzt, hielten wir es daher für geboten, ihre Bearbeitung in einer größeren Anzahl von Feldversuchen vom Jahre 1930 ab in der Versuchswirt-

schaft Königsmoor erneut in Angriff zu nehmen. Über einen Teil dieser Versuchsergebnisse wird nun nachstehend kurz berichtet und gleichzeitig darauf hingewiesen, daß ein umfassender Bericht voraussichtlich noch im Laufe dieses Jahres in «Bodenkunde und Pflanzenernährung», Verlag Chemie, Berlin, erscheinen wird.

### 1. Kalkungs- und Düngungsversuche auf Hochmoorboden.

Das für die Versuche benutzte Feld war bereits im Jahre 1922 kultiviert und damals wie folgt in verschieden starker Weise gekalkt worden:

Teilstück 1 und 5 erhielten: keinen Kalk.

»	2	»	6	»	:	20	dz/ha	CaO	in	Mergel.
»	3	»	7	»	:	40	»	»	»	»
»	4	»	8	»	:	60	»	»	»	»

Eine Nachkalkung ist inzwischen nicht erfolgt. Wenn trotzdem die ursprünglich nicht gekalkten Teilstücke je nach Frucht und Düngung nicht unerhebliche Ernten geliefert haben, so liegt dies daran, daß die Phosphorsäure regelmäßig in kalkhaltigen Phosphaten (Thomasmehl oder Algierphosphat) zugeführt wurde. Auf diese Weise kommt immerhin so viel basisch wirksamer Kalk in den Boden, daß vor allem der gegen Bodensäuren wenig empfindliche Moorhafer spätestens im 4. oder 5. Jahre auf ungekalkten Hochmoorfeldern durchaus normale Erträge bringt.

Im Jahre 1929/30 wurde auf dem ganzen Feld zunächst Petkuser Winterroggen gebaut. Bei gleicher Grunddüngung in Höhe von 125 kg Kali in Kainit und 100 kg Phosphorsäure in Algierphosphat für 1 ha wurde die Stickstoffdüngung in der Weise verschieden gestaltet, daß auf Abteilung 1—4 die östliche Hälfte mit *Ammonsulfat*, die westliche mit *Natronsalpeter* gedüngt wurde. Auf Abteilung 5—8 wurde jedoch eine ganze Anzahl von mineralischen Stickstoff-Düngemitteln verschiedener chemischer und physiologischer Reaktion nebeneinander geprüft. Auch im Jahre 1932 wurde die Abteilung 5—8 zu einem Stickstoff-Düngungsversuch benutzt, dieses Mal zu Petkuser Sommerroggen. Die Erträge aller 3 Versuche sind in Übersicht 1 zusammengestellt.

Übereinstimmend geht aus Übersicht 1 hervor, daß die Stickstoff-Düngemittel physiologisch-saurer Reaktion (Leunasalpeter, Ammonsulfat, Chlorammon und Kalkammoniak) bei den *schwachen* Kalkungen besonders hinsichtlich des Körnertrages *stark versagt* haben. Am deutlichsten mußte dies naturgemäß auf den bei der Anlage überhaupt nicht gekalkten Teilstücken 1 und 5 in Erscheinung treten, auf denen mit den genannten Düngemitteln *völlige Mißernten* erzielt wurden. Bei dem auf Abtg. 1—4 im Jahre 1929/30 gebauten Petkuser Winterroggen wurde ohne Kalk überhaupt nichts geerntet, weil die betreffenden Teilstücke gänzlich durch den kleinen Sauerampfer (*Rumex acetosella*) verunkrautet waren. Umgekehrt waren bei den *Salpeterdüngern* auf diesen Teilstücken durchweg bessere Erträge zu verzeich-

*Übersicht 1. Erträge von Winterroggen und Sommerroggen bei verschiedener  
Kalkung und Stickstoffdüngung auf Hochmoorboden (1930—1932)*

Lfd. Nr.	Art des N-Düngers	Kalkzufuhr (CaO) auf 1 ha im Jahre 1922							
		ohne Kalk		20 dz		40 dz		60 dz	
		Korn	Stroh	Korn	Stroh	Korn	Stroh	Korn	Stroh
<b>1. Winterroggen auf Abt. 1—4 im Jahre 1929, 30.</b>									
1	Natronsalpeter . . . . .	14,56	<b>50,51</b>	<b>16,28</b>	43,55	15,61	37,84	14,29	33,20
2	Ammonsulfat . . . . .	0,00	0,00	12,18	<b>38,48</b>	<b>15,24</b>	37,85	13,52	29,15
	mehr bzw. weniger bei Ammonsulfat	—14,56	—50,51	—4,10	—5,07	—0,37	+0,01	—0,77	—4,05
<b>2. Winterroggen auf Abt. 5—8 im Jahre 1929, 30.</b>									
1	Natronsalpeter . . . . .	10,82	30,69	15,21	<b>38,62</b>	<b>16,02</b>	35,35	15,55	34,49
2	Kalksalpeter . . . . .	10,60	33,32	<b>16,39</b>	<b>40,65</b>	15,71	37,25	15,93	34,15
3	Kalkammonsalpeter . . . . .	9,58	31,26	<b>15,89</b>	<b>39,66</b>	15,02	33,68	14,87	34,21
	Durchschnitt 1—3 . . . . .	10,33	31,73	<b>15,83</b>	<b>39,64</b>	15,58	35,43	15,45	34,28
4	Leunasalpeter . . . . .	4,62	15,04	12,02	35,47	14,78	34,52	<b>16,19</b>	<b>35,89</b>
5	Ammonsulfat . . . . .	1,58	5,94	14,46	<b>43,05</b>	<b>15,65</b>	35,41	15,46	34,31
6	Kalkammoniak . . . . .	3,35	13,67	14,87	<b>39,44</b>	16,91	34,95	<b>17,00</b>	36,02
	Durchschnitt 4—6 . . . . .	3,18	11,55	13,78	<b>39,32</b>	15,78	34,96	<b>16,22</b>	35,41
<b>3. Sommerroggen auf Abt. 5—8 im Jahre 1932.</b>									
1	Natronsalpeter . . . . .	12,33	46,75	<b>15,09</b>	45,80	14,75	<b>52,52</b>	11,02	40,19
2	Chlorammon . . . . .	2,60	10,80	8,81	42,82	12,01	<b>45,60</b>	<b>14,00</b>	43,86
	mehr bzw. weniger bei Chlorammon	—9,73	—35,95	—6,28	—2,98	—2,74	—6,92	+2,98	—3,67

Bemerkung: Korn- und Stroherträge sind hier und im folgenden auf einen gleichmäßigen Feuchtigkeitsgehalt von 15 % berechnet.

nen, wenn sie selbstverständlich auch noch nicht befriedigen konnten. Bemerkenswert ist aber, daß die *Höchstleistungen* der Salpeterarten — insofern bestätigen die Ergebnisse frühere Erfahrungen — besonders im Kornertrage bereits bei 20 dz CaO auf 1 ha erreicht wurden. Mit weiter steigender Kalkmenge sanken dagegen die Erträge, während bei den Ammoniaksalzen (einschließlich des Leunasalpeters) das Umgekehrte der Fall war. Bei dem Winterroggenversuch Nr. 2 zeigten die zuletzt genannten Stickstoffdünger ihre beste Wirkung sogar erst bei 60 dz/ha Kalk.

## II. Ergebnisse von Sortenanbauversuchen bei verschiedener Kalkung.

Die zunächst mitzuteilenden Versuchsergebnisse stammen von derselben Hochmoorfläche, die zu den soeben besprochenen Düngungsversuchen benutzt wurde. Zu den Sortenanbauversuchen wurden die nachstehenden Stickstoffmengen und -düngemittel verabfolgt:

zu Winterroggen 1933:	50 kg/ha N in Leunasalpeter,
zu Winterroggen 1934:	60 kg/ha N in Natronsalpeter,
zu Hafer 1933:	50 kg/ha N in Leunasalpeter,
zu Kartoffeln 1935:	{ 50 kg/ha N in Kalkstickstoff,
	{ 50 kg/ha N in Natronsalpeter,
zu Kartoffeln 1936:	{ 50 kg/ha N in Kalkstickstoff,
	{ 50 kg/ha N in Leunasalpeter.

Folgende Sorten gelangten zum Anbau:

### Winterroggen:

- |                  |                       |
|------------------|-----------------------|
| 1. Moorroggen.   | 5. Probsteier.        |
| 2. Petkuser.     | 6. Carstens.          |
| 3. Karlshulder.  | 7. Svalöfs Panzer.    |
| 4. Buhlendorfer. | 8. Friedrichswerther. |

### Hafer:

- |                              |                         |
|------------------------------|-------------------------|
| 1. Schwarzer Moorhafer.      | 7. Svalöfs Goldregen.   |
| 2. Hellgelber Moorhafer.     | 8. Finnischer Kyto.     |
| 3. Oldenburg. Schwarzhafer.  | 9. Carstens IV.         |
| 4. Rotenburger Schwarzhafer. | 10. Dippes Überwinder.  |
| 5. Petkuser Gelbhafer.       | 11. » früher Weißhafer. |
| 6. Leutewitzer Gelbhafer.    | 12. » Gelbhafer.        |

### Kartoffeln:

- |                |                 |
|----------------|-----------------|
| 1. Ackersegen. | 5. Parnassia.   |
| 2. Erdgold.    | 6. Ovalgelbe.   |
| 3. Voran.      | 7. Goldwährung. |
| 4. Altgold.    | 8. Industrie.   |

Da aus Raumrücksichten auf eine Wiedergabe der Einzelerträge verzichtet werden muß — es sei in dieser Hinsicht aber auf die bereits erwähnte größere Arbeit der Moor-Versuchsstation verwiesen, deren Veröffentlichung bevorsteht — so müssen wir uns darauf beschränken, die *Sortendurchschnitte* für die verschiedenen Früchte hierunter zu bringen. Es wurden geerntet in dz auf 1 ha bei:



	Ohne Kalk		20 dz CaO		40 dz CaO		60 dz CaO	
	Korn	Stroh	Korn	Stroh	Korn	Stroh	Korn	Stroh
1. Winterroggen (2 Ernten)	6,39	18,30	12,82	30,41	13,63	<b>30,80</b>	<b>13,89</b>	29,82
2. Hafer (eine Ernte)	12,57	27,10	23,41	35,26	26,27	39,17	<b>27,75</b>	<b>41,74</b>
3. Kartoffeln (2 Ernten)	Knollen	Stärke	Knollen	Stärke	Knollen	Stärke	Knollen	Stärke
	262,4	39,1	245,1	36,6	268,9	40,7	<b>272,8</b>	<b>41,4</b>

Zu den vorstehenden Ergebnissen ist folgendes zu bemerken:

1. Von den *Winterroggensorten* brachte nur der bodenständige *Moorroggen* ohne Kalk einen befriedigenden Korn- und Strohertrag. Trotzdem erreichte diese ziemlich anspruchslose Sorte den höchsten Kornertrag (im 2jährigen Durchschnitt) erst bei 60 dz/ha Kalk. Bei den *Zuchtsorten* wurden die *höchsten* durchschnittlichen *Kornerträge* erst von 40 dz/ha Kalk aufwärts erzielt; und zwar benötigten *Pelkuser*, *Buhendorfer* und *Friedrichswerther Bergroggen* 40 dz, die restlichen vier Zuchtsorten: *Karlshulder*, *Probsteier*, *Carstens* und *Panzerroggen*, dagegen 60 dz/ha Kalk.

2. Bei dem *Haferanbauversuch* im Jahre 1933 wurde insofern eine ähnliche Beobachtung gemacht, als hier der bodenständige schwarze Moorhafer und die aus ihm gezüchteten hellgelben bzw. schwarzen Sorten ebenfalls auf dem ursprünglich nicht gekalkten Teilstück ihre höchsten Kornerträge erzielten. Nur der Rotenburger Schwarzhäfer machte eine Ausnahme und benötigte 60 dz/ha Kalk. *Sämtliche gelben und weißen Zuchtsorten versagten jedoch ohne Kalk vollkommen* und drückten infolgedessen den Sortendurchschnitt stark herab. Ihre Erträge hoben sich, sowohl beim Korn wie beim Stroh, erst mit steigender Kalkung. Dabei war Dippes Gelbhafer der einzige, der seinen Höchstertrag mit 30,3 dz Korn und 42,3 dz Stroh schon bei 40 dz/ha Kalk erreichte. *Bei sämtlichen übrigen Sorten war dies dagegen erst bei 60 dz/ha Kalk der Fall. So kam es, daß auch im Gesamtdurchschnitt die stärkste Kalkung oben an stand.*

3. Auch die *Kartoffelsorten*, die der Unkrautbekämpfung wegen in beiden Jahren die Hälfte des Stickstoffs in Form von Kalkstickstoff erhielten, brachten es bereits auf den seinerzeit ungekalkt gebliebenen Teilstücken zu sehr befriedigenden Knollen- und Stärkeerträgen. Im Jahre 1935, in dem die 2. Hälfte des Stickstoffs in Form von *Natronsalpeter* gegeben wurde, erzielten folgende Sorten sogar schon «ohne Kalk» den höchsten Knollenertrag: *Ackersegen*, *Erdgold*, *Voran*, *Altgold* und *Ovalgelbe*. Mehr kalkbedürftig scheinen dagegen die nachstehenden Sorten zu sein: *Parnassia*, *Goldwährung* und *Modrows Industrie*. Bei Anwendung von *Leunasalpeter* (1936) erzielte *Voran* ebenfalls wieder ihren höchsten Knollenertrag ohne Kalk und auffallenderweise auch *Parnassia*, die aber im ganzen hinter ihrer Leistung

im Jahre 1935 zurückblieb. *Alle anderen Sorten rückten bei der Düngung mit Leunasalpeter dagegen in die 40 bzw. 60 dz CaO-Zone*, so daß der Gesamtdurchschnitt im Knollen- und Stärkeertrag ebenfalls mit 60 dz/ha Kalk zusammenfiel.

*Schrifttum.*

1. *Tacke, Br. und Arnd, Th.:* Die schädliche Bodenazidität und ihre Bestimmung. Zeitschr. für Pflanzenernährung, Düng. und Bodenkunde; Verlag Chemie, Berlin, 1928, Teil A, Bd. 12, S. 385.
2. *Tacke, Br.:* Das Kalkbedürfnis kalkarmer Moorböden. Zeitschr. für Pflanzenernährung, Düng. und Bodenkunde, Berlin, 1930, Teil B, Bd. IX, S. 232.
3. *Tacke, Br.:* Ebenda, S. 231.

## 52. Neues auf dem Gebiete der Moorkultur in der UdSSR

Von

Prof. Dr. *M. W. Dokukin*, Minsk, UdSSR.

In den letzten Jahren kann man in der UdSSR einen großen Umschwung in den Anschauungen über den landwirtschaftlichen Wert der Moorböden verzeichnen. Vor der Revolution betrachtete man im ehemaligen Rußland die Moore ausschließlich als Quelle von Brenn- und Torfdüngungsmaterialien; jetzt aber wird in der UdSSR der große Wert der Moore als Areale, die sich vortrefflich zu hochproduktiven landwirtschaftlichen Nutzländereien umwandeln lassen, allgemein anerkannt. Diese Areale müssen den erhöhten Forderungen Genüge leisten, die jetzt an die Produktivität der Landwirtschaft der Mooregebiete gestellt werden. Die Sowjetregierung betrachtet es als unzweckmäßig, in die nördlichen moorigen Gebiete das hier nicht ausreichende Futter (Heu und Korn) vom Süden her einzuführen; alle Futtergewächse müssen an Ort und Stelle ihres Konsums auf den nutzbar gemachten Mooren produziert werden. Außerdem fordert die stark angewachsene Industrie der Sowjetunion für ihren Betrieb eine ganze Reihe von Produkten, Hanf, Flachs, Zuckerrüben, Kartoffeln u. dgl. m., deren Produktion auf gedränten Mooren und anmoorigen Böden höchst rentabel ist.

In den letzten Jahren wurde in der UdSSR eine chemische und energetische Basis für eine solche Ausnützung der Moore geschaffen, und zwar: 1. die Versorgung der Landwirtschaft mit Kalisalzen, ohne welche bekanntlich eine Moorkultur nicht möglich ist, und 2. die Errichtung einer energetischen Basis bei der Organisation von Maschinen- und Traktorstationen, die mit Moormaschinen versorgt werden. Infolge der von Grund aus veränderten Bedingungen der Nutzbarmachung der Moore werden in dem letzten Jahrzehnt große Fortschritte beobachtet; nach annähernder Berechnung sind heute 80 000 ha Moore ungebrochen und bestellt und 500 000 ha durch Regulierung der Wasserbecken trockengelegt und für die beabsichtigte intensive Kultur bereit. Die Hauptherde der Moorkultur sind in der Weißrussischen SSR, im Westgebiet, in der Ukrainischen SSR und in Karelien zu finden.

Zwecks allseitiger Erforschung der Fragen, die mit der Urbarmachung der Moore in der UdSSR verbunden sind, ist eine ganze Reihe von Instituten und lokalen Moorversuchsstationen errichtet worden. Die Leitung der Forschungsarbeit auf dem Gebiete der Urbarmachung der Moore hat das Zentrale Wissenschaftliche Institut für die Moormwirtschaft in Minsk; das Hydrotechnische Institut des Nordens beschäftigt sich mit den Fragen der Ausnützung der

Moorländereien der Gebiete von Leningrad und Kalinin und des Nordgebiets; in der Ukraine konzentriert sich die Arbeit der Moorkultur in dem Ukrainischen Hydrotechnischen Institut. Allgemeine Fragen der Trockenlegung gehören in den Tätigkeitskreis des Zentralen Wissenschaftlichen Forschungsinstituts für Hydrotechnik und Melioration (Moskau). Aus der Zahl lokaler Moorversuchsstationen seien vor allem erwähnt: die Kirowsche (vorm. Wjatka), die Moskauer, die von Archangelsk, von Nowgorod, von Powenetz (Karelien), die Sulsche (Ukraine) und die Ubinsche (West-Sibirien).

Vorliegende kurze Abhandlung soll mit den wissenschaftlichen Ergebnissen der Ausnützung der Moore in der UdSSR und mit den Resultaten der Arbeit der erwähnten Forschungsanstalten bekanntmachen.

### *Typologie und Klassifikation der Moore.*

In dem letzten Jahrzehnt wurden zahlreiche, umfangreiche Trockenlegungsarbeiten in verschiedenen Bezirken der UdSSR vorgenommen; diese Arbeiten wurden von eingehenden agro-bodenkundlichen Untersuchungen des trockengelegten Moormassivs begleitet; die erhaltenen Daten zeigen, daß man oft, sowohl bei Moormassiven der podzoligen als auch besonders bei jenen der Tschernozemzone der UdSSR, die Erscheinungen der Versalzung der Moore und die damit verbundenen eigentümlichen agrikulturellen Eigenschaften solcher Moorböden mitberücksichtigen muß.

Die Bildung solcher Moore ist mit den Eigentümlichkeiten des geologischen Aufbaus und des Chemismus der Oberfläche des Muttergesteins eng verbunden. Da die versalzene Moore keine Ausnahmen darstellen, sondern in gewissen Zonen sehr oft vorkommen, muß ihnen eine spezielle Stelle in der Klassifikation der Moore zugeteilt werden. Unter solchen Bedingungen kann das westeuropäische Klassifikationssystem der Moore, das im wesentlichen Niederungs-, Übergangs- und Hochmoore unterscheidet, die große Mannigfaltigkeit der Moore der UdSSR nicht erfassen. Es ist unter unseren Verhältnissen zweckmäßiger, das trophische Prinzip der Einteilung der Moore zugrunde zu legen und diese in folgende Gruppen zu vereinigen: 1. oligotrophe, 2. eutrophe und 3. hypertrophe oder versalzene Moore. Die Haupteigentümlichkeiten dieser Gruppen können wie folgt zusammengefaßt werden.

1. Die oligotrophen Moorböden bilden sich bei sehr schwachem Zufluß der mineralischen Stoffe, die Neutralisatoren mit einbegriffen; ihre organische Substanz zeichnet sich durch hohe Azidität aus (pH von 2 bis 4,5 mit dem Basensättigungsgrad von 25—50%); sie verdanken ihre Entstehung in der Hauptsache folgenden Sphagnumarten: *Sph. fuscum*, *Sph. medium*, *Sph. parvifolium*, *Sph. Dusenii* und *Sph. balticum*, sowie einigen Gras- und Nadelholzarten.

2. Die eutrophen Moorböden entstehen bei beträchtlichem Zufluß von Mineralstoffen und von Neutralisatoren, sie besitzen eine stark saure organische Substanz (pH von 4,5 bis 6,5 mit 50—90% Basensättigung) und verdanken ihre Entstehung den grünen Moosen,

den Seggen, den Gramineen, den Laubhölzern und einer kleinen Gruppe von Sphagneen: *Sph. obtusum*, *Sph. subsecundum* und *Sph. teres*.

3. Die hypertrophen oder die versalzene Moorböden bilden sich bei reichem Zufluß der Mineralstoffe; ihre organische Substanz ist schwach sauer, neutral oder alkalisch (pH von 6,0 bis 8,0, der Sättigungsgrad mit Basen nähert sich 100%); sie verdanken ihre Entstehung in der Hauptsache der Grasvegetation und den grünen Moosarten. In Hinsicht der mineralischen Ernährung erfaßt die letzte Gruppe der Moore folgende Torfmoore: karbonat-, eisen-, chlor-, phosphorhaltige u. a.

Bei weiterer Einteilung der erwähnten drei Haupttypen der Moore in Klassen muß die Genesis und Stratigraphie des Torflagers zugrunde gelegt werden; die Unterteilung der Klassen in Arten muß auf der botanischen Herkunft der Ackerschicht und der diese unterlagernden Schicht beruhen.

In letzter Zeit wurde vom Institut für Moorbirtschaft große Aufmerksamkeit der Frage der Herkunft der Phosphorsäure in Moorböden und ihrer Dynamik beim Fortschreiten der Kultur gewidmet. Die durchgeführten Untersuchungen haben bewiesen, daß der Phosphor der Böden in der Hauptsache mineralischer Herkunft ist und aus Grundwassern stammt, daß seine Menge in Böden der kultivierten Torflager mit der Zeit anwächst und daß die Aufnehmbarkeit der Phosphate durch die Pflanzen im Zusammenhang mit dem Eisen- und Aluminiumgehalt des Bodens steht. Die Untersuchungen haben gezeigt, daß das Bedürfnis der kultivierten Moorböden an diesem Element mit der Zeit in Verbindung mit der Anhäufung des gesamt- und des zitronensäurelöslichen Phosphors im Boden abnimmt, im Gegensatz zum Kali, dessen Menge im Boden mit der Zeit kleiner wird.

#### *Trockenlegung der Moore und der versumpften Ländereien.*

Die auf vielen trockengelegten Arealen angestellten Beobachtungen haben gezeigt, daß unter den Bedingungen der podzoligen Zone der UdSSR und besonders in der Waldsteppenzone die tiefe Regulierung der Wasserbecken und tiefeingelegte Hauptentwässerungszüge den größten Entwässerungseffekt gehabt haben. Bei gutem Vorfluternetz werden im großen und ganzen weniger intensive Entwässerungssysteme als in Westeuropa benötigt. Es hat sich erwiesen, daß bei versumpften Böden mittlerer mechanischer Zusammensetzung eine Bedarfsdrainage längs der Talwege ausreicht.

Die Moore erfordern gewöhnlich eine durchgängige Drainage mit Dränentfernungen von 30 bis 90 m, je nach den lokalen Bedingungen. Aus der Zahl der angewandten Drainage-systeme sei auf einige neue Vorschläge auf diesem Gebiete hingewiesen: 1. Maulwurfdrainage bei stubbenfreiem Moor; 2. Stangen-Faschinendrainage; 3. Reisigdrainage und 4. Fournirbrettdrainage.

#### *Fragen der Düngung der Moore.*

Auf dem Gebiete der Düngung der Moore beschäftigten sich die Sowjet-Kulturtechniker in den letzten zehn Jahren vor allem mit den

drei folgenden Fragen: 1. Aufklärung der Ursachen und Ausarbeitung von Methoden zur Bekämpfung der physiologischen Erkrankung, der viele Kulturpflanzen auf Moorböden unterliegen und die in Deutschland als «Urbarmachungskrankheit» bezeichnet wird, 2. Aufklärung der Frage der Anwendung von kali- und phosphorhaltigen Düngemitteln beim Fruchtwechsellsystem und 3. chemische Mittel zur Bekämpfung der Unkräuter. Was die Frage der Bekämpfung der physiologischen Erkrankung der Pflanzen unter Bedingungen der Moorböden anbelangt, so zeigte sich vor allem, daß die weite Verbreitung dieser Krankheit nicht von der geographischen Breite abhängt und im Süden und insbesondere auf karbonathaltigen Mooren viel stärker in Erscheinung tritt. Alle Pflanzen außer den Kartoffeln unterliegen dieser Krankheit. Die Krankheit wird durch Anwendung von kupferhaltigen Düngern beseitigt; als solche sind die Pyritbrennreste der chemischen und der Papierfabriken zu nennen. In bezug auf die Anwendung der Dünger beim Fruchtwechsellsystem auf Moorländern wurde gezeigt, daß nicht alle Kulturen des Systems PK-Dünger brauchen, wodurch beträchtliche Ersparnisse bei der Moorkultur erzielt werden können. Aus der Zahl der Herbizide erwiesen sich auf den Mooren der UdSSR als sehr wirksam das Eisenvitriol (Konzentration 15—20%), das Kupfervitriol (Konzentration 3—5%) und der fein zermahlene Silvinit.

#### *Bearbeitung der Moorböden.*

Durch vielseitige Versuche, die mit verschiedenen Systemen der Pflugbearbeitung der Moorböden angestellt worden sind, wurde bewiesen, daß die biologische Aktivität des Bodens durch entsprechende Bearbeitung verstärkt oder unterdrückt werden kann. Durch Schälen, frühes Herbstpflügen und Bearbeitung mit der Diskusegge ebenfalls im Herbst gelang es, die Nitrifikationsprozesse im Vergleich zu dem bei spätem Herbst- und Frühjahrspflügen erzielten Effekt bis um 50—100% und sogar mehr zu heben.

Durch Vervollkommnung des Bearbeitungssystems kann man bei Hafer und Gerste Kornerträge von 30—40 dz/ha und bei Hanf Stroherträge von 70—80 dz/ha auf solchen Moorböden erreichen, auf denen diese Kulturen früher nicht gedeihen konnten.

#### *Agrikulturtechnik der auf Moorböden anzubauenden Kulturpflanzen.*

Hier müssen zunächst die für die trockengelegten Moore neuen Pflanzen erwähnt werden, die durch Anwendung eines entsprechenden Agrikulturkomplexes auf Mooren hohe Erträge liefern können, und zwar: Zichorie, Zuckerrübe, Raps, Senf, Tau-Sagyz, Kaukasischer Hanf, Sommerweizen und Pfefferminz. Ferner seien auch die neuen Errungenschaften in der Agrikulturtechnik der alten Kulturen auf Moorböden erwähnt.

Der Ertrag aller Kulturpflanzen ist vom Aérationsgrad des Bodens abhängig, und zwar muß der Boden in bestimmten Perioden der Pflanzenentwicklung einen bestimmten Aérationsgrad besitzen, den man regulieren und durch entsprechende Dränung und Bearbeitung

erreichen kann. Für Graskulturen beträgt der optimale Aerationsgrad 25%, für Feldkulturen 30%. Bei allen Versuchen mit den verschiedenen Kulturpflanzen strebt man immer nach ein und demselben Ziel — der Ausarbeitung solcher agrikulturtechnischen Komplexe, die einen Maximalertrag der Pflanzen und den minimalen Selbstkostenpreis der Ertragseinheit zeitigen können. In dieser Richtung ist viel erreicht worden: in der Produktion der Wiesen, der Weiden und des Saftfutters sowie bei der Kultur der Getreidearten, deren Anbau auf Moorböden früher nicht als zuverlässig betrachtet wurde, deren Erträge aber jetzt die der Tschernozemböden sogar übertreffen.

Die Fortschritte der Sowjetwissenschaft auf dem Gebiete der Kulturtechnik und ihre Anwendung in großem Maßstab lassen mit vollkommener Zuversicht erwarten, daß in der UdSSR bei der weiteren schnellen Urbarmachung neuer Moorareale noch größere Erfolge erzielt werden können.

## 53. Some factors influencing the productiveness of highly organic soils in North Carolina

By

*L. G. Willis, Raleigh, U. S. A.*

The coastal plain of North Carolina consists of six geological terraces, the easternmost one of which is best developed along the northern sector of the coast line. Owing to the extensive area of this lower terrace and its slight elevation, which seldom exceeds fifteen feet above sea level, natural drainage is poorly developed. The mineral solum is entirely a marine deposit ranging in texture from sand to silt and of irregular topography. Owing to the defective drainage, extensive organic deposits have been accumulated. These vary in depth and content of mineral matter but as a rule the material approaches more nearly a true peat as the distance from natural drainage outlets increases.

The present natural cover includes extensive areas of indigenous shrubs but a large part of the tract is cut-over timber land. Considerable differences exist in the natural productiveness of the soil but it is not known whether this is associated with the source of the organic material or some other factor. As a rule the deeper peat deposits have not been brought into cultivation.

When the muck soils were first reclaimed by artificial drainage they were highly productive. Within a few years however crop yields decreased to negligible amounts. Liming was beneficial to only a limited degree although the soil was strongly acid with a characteristic pH value of 3.8. Heavy fertilization with potash was distinctly favorable to corn (maize) but phosphates were definitely injurious. Low yields were invariably associated with excessive accumulations of iron in the nodal tissue (3) and diseased root systems.

A study of the oxidation-reduction factor (6) indicated that the unproductiveness of these soils was due to the reductive effect of microbial decomposition of the soil organic matter. Owing to the difficulties involved in the solution of the problem by direct experimentation it has been necessary to rely on objective tests of hypotheses that have been developed from fragmentary data.

From the results of the work on the oxidation-reduction phase of the problem it appeared that in the process of microbial decomposition a small amount of an active reductant was formed at the expense of a relatively large amount of inactive organic matter. This reductant reacted slowly with molecular oxygen to produce a stable equilibrium value.



An assumption was made that a catalyst such as copper would have the effect of accelerating the oxidation reaction and some evidence has been obtained in support of this opinion (7). It has also been found that copper sulfate will reduce the intake of iron by corn plants grown on an unproductive phase of one of these muck soils (8). Field tests with copper sulfate have demonstrated the beneficial effect of this material but it has also been found that manganese sulfate will under some conditions produce a similar but less pronounced response.

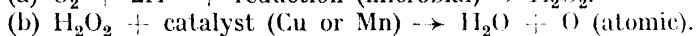
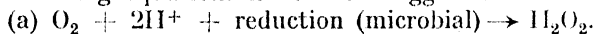
The unsatisfactory effect of liming appears to be associated with an acceleration of microbial activity whereby the increase in reductiveness counteracts the effect of the increase in pH on the solubility of iron. The injury produced by phosphates has also been ascribed to the activation of microorganisms with a consequent increase in reductiveness and solubility of iron. This suggested a conclusion that the adverse effect of phosphates is evidence of a deficiency of phosphorus as a nutrient and experimental tests with oats have demonstrated that a striking increase can be obtained with phosphatic fertilization when the reductive condition is corrected by applications of copper sulfate.

Some difficulty was experienced in providing an explanation for the similarity of the effects of copper and potassium. It has been shown (3) that the latter also reduces the intake of iron by corn plants. Observations made in the field demonstrated that the copper requirement of the muck soils was most pronounced where the mineral fraction is sand. Where mineral colloids are abundant no response to copper has been noted except with crops that are apparently extremely sensitive to the unfavorable soil condition.

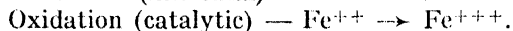
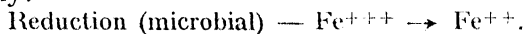
These observations led to a study of the reactions between potassium and some of the constituents of the colloidal fraction. The work is still in progress but definitive evidence has been obtained that aluminum and silicic acid are the active agents for the fixation of iron by reaction with potassium.

There is a possibility that calcium may be involved in the reaction and that there may be a limiting minimum pH value.

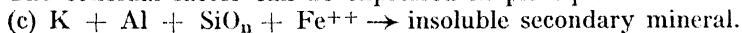
In developing a hypothetical explanation for the reactions involved the following equations have been suggested:



As regards the solubility of iron the foregoing reactions would imply:



The colloidal factor can be expressed in principle as:



Reactions (a) and (b) are dependent upon the presence of oxygen while reaction (c) is not. The latter can then be considered as supplementary to the former and essential as a protective mechanism for organic soils subject to intermittent saturation with water.

It is pertinent to note that either copper or manganese has been found to correct the symptoms considered indicative of a deficiency

of potassium on an upland sandy loam soil low in colloidal content with cotton as the test crop. This introduces a further item of significance involving the method of fertilization of the muck soils. Since either potassium or copper will produce the desired crop responses some basis for the choice of the two elements should be developed. If the fundamental hypotheses regarding the reactions are correct, the use of potassium should eventually result in the inactivation of the aluminum and silicic acid whereas the use of copper would have the opposite effect by limiting the concentration of iron as an essential component of the reacting system.

There is some evidence however of a deficiency of potassium as a plant nutrient in the local muck soils. If this requirement were to be supplied it is probable that it would be fixed in an unavailable form at a rate that would be limited by the solubility of iron. The use of copper would therefore have the effect not only of maintaining the activity of the reactive component of the mineral colloids but also of increasing the efficiency of potassium.

Another possibility that has not been tested experimentally is that applications of aluminum silicate may be found beneficial to organic soils.

No direct attempts have been made to investigate the physiological aspects of the muck soil problem. Limited experience indicates that the order of tolerance to the unfavorable condition found in the muck soils is, in general, the same as to soil acidity. Several investigators (1) (2) (5) have shown that the defects of plants grown on such soils can be corrected by the application of dilute solutions of copper sulfate to the leaves of affected plants. This would appear to raise a doubt as to the validity of the assumptions presented in the foregoing discussion. It is not improbable that the reactions expressed in equations (a) and (b) can take place within the plant as well as within the soil and that the effect of the treatment to the leaves is to inactivate the iron and render it non-injurious within the plant. Since the most pronounced injury to plants growing in untreated muck soils is evidenced by extreme root injury, however, it would seem most probable that the copper acts primarily as a catalyst of oxidation in the soil.

No claim is made that the assumptions derived from the experimental evidence are correct in all details. A large amount of research work remains to be done on the problem but up to the present time the principle objective has been that of orientation. According to the perspective that has been developed several interesting details are suggested for further observation and study. One of these relates to the method of use of copper. It can be assumed that phosphate deficient soils are relatively inert and in these copper should be applied with the fertilizer since the unfertilized soil will not be strongly reductive. On the other hand a soil having an adequate supply of phosphate for microbial development may be inert because of an extremely low pH value. In such cases the copper treatment should be made as lime is applied.

It can also be assumed that the more highly oxidized surface soils constitute a better environment for plant roots than the underly-

ing subsoils and that deep tillage is not advisable. High soil temperatures should be undesirable in so far as they increase microbial activity. Extreme drouth should be particularly injurious since plant roots could not survive in the more reductive subsoils, and prolonged flooding would promote reductive effects in the surface soil more promptly than in soils having a lesser content of readily decomposable organic matter.

It can be predicted that with adequate drainage, liming and fertilization, muck soils will in the course of years increase in productiveness without any supplementary treatment without regard for the economy of such a practice. The use of copper sulfate would therefore be necessary only during the period of the active decomposition of the organic material. The amount of copper needed in any single application would depend upon the intensity of the decomposition process while the total amount required would be limited to the concentration producing the maximum catalytic effect or by the length of the period of active decomposition.

Many of the problems of the muck soils can be extended into those of the effects of fertilizers on all soils. Evidence has been produced (4) that the principle function of organic matter in mineral soils is the maintenance of a favorable oxidation-reduction equilibrium and that a catalyst such as copper or manganese is essential to this function. Apparently, the critical factor is the control of the concentration of soluble iron.

This raises a further question regarding the possibility that phosphates and potash are being applied in fertilizers more liberally than is required for plant nutrition as a means of preventing the development of injurious concentrations of soluble iron.

#### *References.*

1. *Bryan, O. C.* (1929): The stimulating effect of external applications of copper and manganese on certain chlorotic plants of the Florida Everglades soils. *Amer. Soc. Agron.* 21, p. 923-933.
2. *Felix, E. L.* (1927): Correction of unproductive muck by the addition of copper. *Phytopath.* 17, p. 49-50.
3. *Hoffer, G. N.* (1926): Testing corn stalks chemically to aid in determining their plant food needs. *Purdue Univ. (Indiana) Agric. Exp. Sta. bul.* 298.
4. *Piland, J. R.* and *Willis, L. G.* (1936): Stimulation of seedling growth by organic matter. In press. *Jour. Am. Soc. Agron.*
5. *Remezow, N. P.* (1929): Die oxydierenden und reduzierenden Prozesse in dem Podsolboden. *Ztschr. für Pflanzenernährung, Düngung und Bodenkunde.* 15, p. 34-44.
6. *Willis, L. G.* (1934): Some potential changes induced by liming suspensions of a peat soil. *N. C. Agr. Exp. Sta. Tech. Bul.* 47.
7. *Willis, L. G.* and *Piland, J. R.* (1934): The influence of copper sulfate on iron absorption by corn plants. *Soil Sci.* 37, p. 79-83.
8. *Willis, L. G.* and *Piland, J. R.* (1936): The function of copper in soils and its relation to the availability of iron and manganese. *Jour. Agr. Res.* 52, p. 467-476.

## 54. Einiges über die bodenkundliche Beschaffenheit der Moorsumpfböden in der Residentur Süd- und Ost-Borneo bezüglich ihrer Berieselung für den Reisbau

Von

*J. W. van Dijk*, Buitenzorg, Java, Niederländisch-Indien.

Das Vorkommen von Mooren in tropischen Ländern war von den älteren Bodenkundlern längere Zeit angezweifelt, ja verneint worden. Erst im Jahre 1891 fand der Botaniker-Förster *S. H. Koorders* bei einem Zuge quer durch Sumatra einen 7 m tiefen Schlamm Boden, der einer Art Moor ähnelte und von *Polonié* als solches anerkannt wurde. (1)

Später sind Moorböden in Niederländisch-Indien mehrmals der Gegenstand botanischer und chemischer Untersuchungen und landwirtschaftlicher Forschungen gewesen (2). Aus diesen letzteren wissen wir, daß auf Borneo und Sumatra in den Niederungen, die jetzt als ein Teil der Sunda-Platte Land sind, große Moorflächen vorkommen.

Diese Flächen werden häufig von den durchquerenden Flüssen überschwemmt. Beim Austreten des Wassers werden längs der Flüsse durch den in großer Menge sich absetzenden Sand Uferwälle gebildet. Mit dem senkrechten Abstand vom Fluß nimmt der Bodensatz an Menge ab und wird feinkörniger; dadurch entsteht hinter dem Uferwall ein gleichmäßig abfallender, aus stets feiner werdendem Material bestehender lehmiger bis toniger Boden. Das hinter dem Uferwall abfallende Gelände heißt auf der Insel Borneo, auf welche ich mich hier beschränke, «renah» und der tiefste Teil «danau» (d. h. See). Diese Danaus werden öfters durch Flußverlegung und das Entstehen neuer Wälle zu Seen oder Sümpfen, je nachdem sie durch Bäche in den Fluß entwässert werden oder nicht.

In den Danaus versinkt die Flora im Wasser, und es entsteht Wald-, Gras- oder Schilfmoor. Die Renahs sind nur in der Regenzeit (in Südborneo von November bis April, wobei monatlich über 200 mm Regen fallen) überschwemmt. Im April sinkt der Wasserstand und im Juni-Juli ist er so niedrig, daß auf und an den Rändern der Danaus Reisbau möglich wird.

Dazu wird die Reissaat im Mai gekeimt, nachher zeitlich auf Beete gepflanzt und Juni-Juli, wenn der Wasserstand es zuläßt, auf die eigentliche «sawah» (Reisfeld) umgepflanzt, wobei diese nur sehr oberflächlich von Unkraut gereinigt wird.

Das Gewächs darf nur kurz auf dem Felde stehen, denn die Regenzeit nähert sich schnell wieder; darum werden frühreife Varietäten angepflanzt. Die Berieselung geschieht aus dem Fluß, der trotz

der trockenen Zeit (es fallen noch ca. 100 mm monatlich) bisweilen einen hohen Wasserstand hat. Das Wasser fließt über die Uferwälle oder durch Einschnitte zu und wird, wenn nötig, abgesperrt.

Es ist aber auch möglich, daß der Fluß in der Trockenzeit beim «bandjir» (Überlauf) soviel Wasser führt, daß der Reis ertrinkt. Dieser Gefahr will man im volkreichen Distrikt Hulu Sungei der Residentur Süd- und Ost-Borneo durch Dämme vorbeugen. Es hat sich jedoch gezeigt, daß man bei der Bedeichung wegen der Beschaffenheit des Untergrundes des dortigen anmoorigen Bodens überaus vorsichtig sein muß.

In der Moorkultur wurde manchmal die Aufmerksamkeit auf das örtliche Vorkommen von Schwefelverbindungen gelenkt. Diese entstehen dadurch, daß der Schwefel der organischen Verbindungen bei Sauerstoffmangel teilweise in Schwefelwasserstoff umgewandelt wird. Dieser entweicht teilweise als Gas, der andere Teil setzt sich mit Eisenverbindungen in Schwefeleisen (Markasit, bisweilen Pyrit) um. Das Vorkommen dieser Verbindungen in den tieferen Schichten der Moore und im mineralischen Untergrunde ist oft beschrieben worden (3).

Kann aber Sauerstoff hinzutreten, weil der Boden zeitweise trocken liegt, so wird der Schwefel mikrobiologisch zu Schwefelsäure oxydiert. Die Säure wird in kalkreichen Böden zu Gips gebunden, wie das gewöhnlich in den gemäßigten Zonen der Erde geschieht. In Borneo sind die Flußabsätze kalkarm, so daß bei Mangel an Kalk die Schwefelsäure auch Eisen und Aluminium bindet und daneben ein Teil der Säure frei bleiben kann.

Aus vielen Forschungen wissen wir, daß Al- und Fe-Sulfate für die Pflanzen giftig sind und daß andere Sulfate bei steigender Konzentration den Gewächsen schaden können. So fand *Crawley*, der in Porto Rico das Verhalten von Hydrocarbonaten und Sulfaten im Boden studierte, daß ein totaler Gehalt an diesen Säureradikalen von mehr als 0,3% für das Zuckerrohr schädlich ist (4).

Al-Salze sind in der Konzentration von 14 mg/l  $Al_2O_3$  ab für den Reis giftig (5).

Das Vorkommen dieser Verbindungen wurde von mir im Alabio-polder studiert. Dieser Polder ist ca. 6000 ha groß und liegt in der Nähe von Amuntai am Negarafluß. Durch Abschneiden einer Flußschlinge ist dort zwischen den Uferwällen und dem früheren Flußlauf ein natürlich eingedämmtes Gelände entstanden (s. Karte). Die Dämme sind aber so niedrig, daß das Becken in der Regenzeit stets unter Wasser steht und daß es auch in der trockenen Zeit überschwemmt wird.

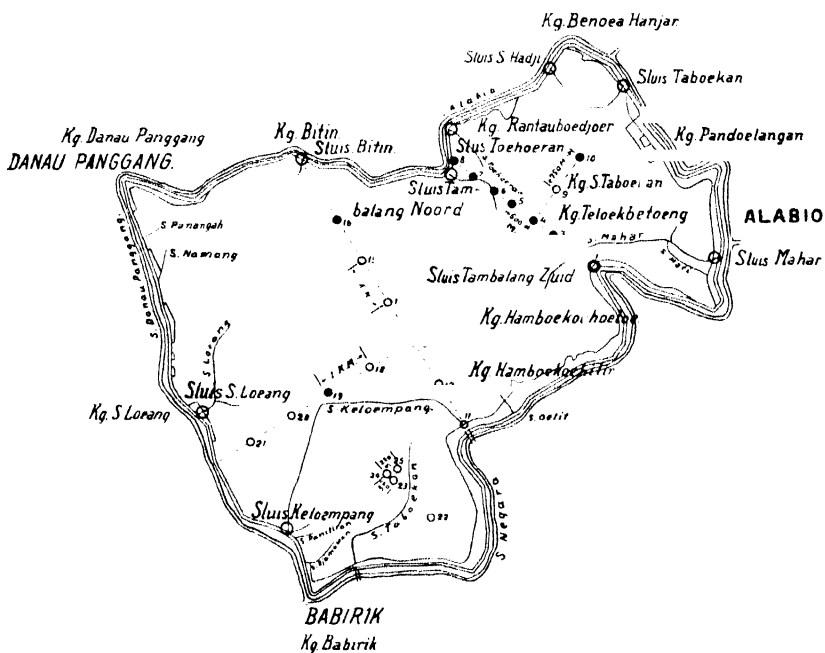
Um der dem Reisbau in der trockenen Zeit drohenden Gefahr der Überschwemmung vorzubeugen (in der nassen Zeit ist jeder Landbau wegen des hohen Wasserstandes sowieso unmöglich), wurde der natürliche Damm vervollkommen, so daß in der trockenen Zeit die Überschwemmung ausbleibt.

Im Sommer 1936 fiel es dem landwirtschaftlichen Berater, Dipl. Ing. *Schuitemaker*, auf, daß in der östlichen Hälfte des Polders der Reis viel besser stand als in der westlichen. Er nahm auf dem

ganzen Gelände Proben, wobei er Gruben machte, um eine bessere Einsicht in die Beschaffenheit des Untergrundes zu bekommen. Die schlechten Stellen sind auf der Karte durch kleine Kreise, die besseren durch schwarze Punkte gekennzeichnet. Die Untersuchung der Proben ergab, daß der Boden aus feinkörnigen Flußablagerungen bestand, also lehmig-tonig war. Örtlich ist er von Moorschichten überdeckt (org. Stoff 20—25%), auch wurden anmoorige Zwischenschichten gefunden.

## ALABIO - POLDER

Schaal 1:100.000.



Die Oberkrume der am meisten typischen Stellen wurde sowohl an den guten als auch an den schlechten Stellen auf Pflanzennährstoffe untersucht, aber aus dem Befund kann der schlechte Stand in der westlichen Hälfte nicht erklärt werden (s. die am Schluß des Bandes beigefügte Tafel); der Gehalt an Phosphorsäure, Kali und Kalk ist für tropische Verhältnisse befriedigend. Dagegen ergibt sich aus dem Gehalt an wasserlöslichen Stoffen ein Unterschied zwischen den guten und den schlechten Stellen.

Betrachten wir zunächst den Trockenrückstand des Wasserausguges, so zeigt sich, daß dieser außer bei den Gruben 2 und 15

bei allen Probestellen in den höheren Schichten größer ist als in den unmittelbar folgenden. Kein Wunder! Die Proben wurden alle in der trockenen Zeit genommen, also hatte der kapillare Aufstieg des Grundwassers bereits stattgefunden und war durch Verdunstung des Wassers an der Oberfläche Salz aufgespeichert worden. Diese Salzanreicherung war noch im November an manchen Stellen bemerkbar. Was den Gehalt an wasserlöslichen Verbindungen in der Oberkrume betrifft, so ist dieser

bei den guten Stellen:	0,160—0,459‰.
bei Grube 2:	0,070‰.
bei den schlechten Stellen (SW):	0,271—1,116‰.

Bei den letztgenannten Stellen ist also die Salzaufspeicherung in den höheren Schichten größer, was deutlich hervortritt, wenn man beachtet, daß der höchste Gehalt (0,459‰) der guten Hälfte in einer der Oberfläche sehr nahe gelegenen Probe (0–5 cm Nr. 58857) gefunden wurde. Schalten wir diese Probe aus, so werden die Grenzen 0,160—0,295‰.

Die höhere Salzkonzentration der schlechten Stellen weist darauf hin, daß entweder im Untergrund Schichten mit größerem Salzgehalt vorhanden sind, oder daß die Salze an den guten Stellen infolge ausgiebiger Bewässerung nicht aufsteigen konnten. In der Tat erhellt aus den Proben der schlechten Stellen, daß sich im Untergrunde, d. h. hier bis höchstens 75 cm unter der Geländeoberfläche, eine an wasserlöslichen Salzen reiche Schicht befindet; dagegen tritt an Orten, wo der Reis gut steht von oben bis unten eine Konzentrationsabnahme zutage, wobei diese nirgends 0,353‰ (Nr. 58838) übersteigt.

Eine Sonderstellung nimmt Grube 2 im guten Teil ein. Hier stand der Reis wegen Wassermangels schlecht, da man, wie aus weiteren Erkundigungen erhellte, dieser Stelle nicht genug Wasser zuführen konnte, so daß der winzige Ertrag daraus völlig erklärt werden kann.

Das ist auch bei der Grube 9 der Fall; jedoch ist dem Befund wenig Wert zuzuschreiben, weil die Probenahme wenig tief war.

Ganz andere Verhältnisse herrschen in dem Boden der von *Schuitmaker* als «schlecht» bezeichneten Stücke des Polders. Hier kommen mehrere Stellen mit schlechtem Stand vor, den die Bevölkerung auf Wassermangel zurückführt. In der Tat war zur Zeit der Probenahme nach den Angaben von *Schuitmaker* der Grundwasserstand im SW-Teil niedriger als im NO-Teil, nämlich 90–100 cm gegen 45–65 cm unter der Geländeoberfläche.

Daß der Unterschied im Wasserstand die einzige Ursache der geringeren Resultate im Reisbau war, erscheint mir nicht wahrscheinlich, weil bei den Gruben 16 und 19, wo der Reisstand gut war, das Grundwasser gleich tief war wie an den anderen Stellen der SW-Ecke, nämlich 95–100 cm unter der Geländeoberfläche.

Nach dem Befunde des Gehaltes an wasserlöslichen Stoffen der Proben aus dem schlechten Teil halte ich es für wahrscheinlicher, daß der geringere Wasserzufluß hier eine schädlichere Wirkung hatte

als dort, wo der Untergrund weniger salzreich ist, erstens weil der an Al-Sulfat reiche Untergrund eine Grenze für die Bewurzelung bildet, zweitens wegen des höheren kapillaren Aufstiegs des giftigen Salzes.

Wir wollen nun zum Nachweis für die Richtigkeit dieser Annahme die Beschaffenheit der Gruben 15 und 16 betrachten. Diese hatten, weil nebeneinander gelegen, ungefähr dieselbe Berieselung. Bei beiden ist, obschon bei Grube 15 die Oberkrume trocken war, der Boden von oben nach unten immer nasser und stand das Grundwasser zur Zeit der Untersuchung ca. 1 m unter der Geländeoberfläche.

Im guten Stück (Grube 16) befindet sich in 30 cm Tiefe eine Schicht mit einem Trockenrückstand von 0,070%, worin vorhanden sind:

$\text{Fe}_2\text{O}_3$	Spur,
$\text{Al}_2\text{O}_3$	Spur,
$\text{SO}_3$	0,024%.

Bei Grube 15 ist in derselben Tiefe (15—55 cm) eine Schicht mit einem Trockenrückstand von 1,134%, worin enthalten sind:

$\text{Fe}_2\text{O}_3$	0,104%,
$\text{Al}_2\text{O}_3$	0,113%,
$\text{SO}_3$	0,212%.

Augenscheinlich muß eine Schicht mit solchem Al-Gehalt physiologisch schädlich wirken.

In den Gruben 13 und 18 befindet sich in ungefähr 50 cm Tiefe eine Schicht mit beinahe 2% wasserlöslichen Stoffen (Nr. 58868 und 58883). Der wasserlösliche Gehalt an Aluminium ist hier gleich hoch, resp. 0,195 und 0,401%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

Der Boden, in dem die Gruben 23, 24 und 25 angelegt sind, befindet sich im schlechtesten Stück des Polders. In einer Tiefe von resp. 70 cm, 20 cm und 70 cm trifft man auf stark giftiges Wasser mit einem Gehalt an wasserlöslichen Stoffen von ungefähr 5%, hauptsächlich Eisen- und Aluminiumsulfat. In Anbetracht der sauren Reaktion (pH 2,6) kommt hier zugleich freie Schwefelsäure im Wasserextrakt vor.

Aus dem Prüfungsmaterial des Bodens im Alabiopolder erhellt, daß hier dieselben Zustände herrschen, die früher bei Reisfeldern in der Nähe von Selat Djaran (Palembang, Sumatra) festgestellt wurden (6). Dort gelangen die giftigen Bodenschichten durch die Bearbeitung in die Oberkrume; im Alabiopolder wirkt die Vergiftung dadurch, daß die Bewurzelung gehemmt wird und physiologische Trockenheit eintritt.

Nebenbei können die Salze direkt durch Aufstieg bis in die Oberkrume gelangen, wie dies bei Grube 25 der Fall war, wo der Sulfatgehalt über 0,3% und der Gehalt an  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  und  $\text{Al}_2\text{O}_3$  zusammen 0,185% beträgt.

Auch an anderen Stellen traf ich eine ähnliche Bodenbeschaffenheit. Aus anmoorigen, ursprünglich mit «galam» (*Melaleuca Leucadendra*, L.) – Wald bewachsenen Böden floß Wasser mit der folgenden Zusammensetzung des Trockenrückstandes ab.



	bei Kuala Kapuas	bei Martapura	
Farbe . . . . .	farblos	braun	farblos
pH . . . . .	3,15	4,50	4,50
	mg/l	mg/l	mg/l
Trockenrückstand . .	1060,0	166,4	530,4
Glühverlust. . . . .	384,0	104,8	152,8
Glührückstand . . . .	676,0	61,6	377,6
Eisenoxyd, $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . .	6,0	6,4	4,0
Aluminiumoxyd, $\text{Al}_2\text{O}_3$	154,0	Spur	1,6
Kalk, $\text{CaO}$ . . . . .	36,7	13,6	55,3
Schwefelsäure, $\text{SO}_3$ . .	457,6	nicht bestimmt	263,3

Bei Kuala Kapuas war der Reis gleich bei der ersten Pflanzung nach der Urbarmachung des Waldes abgestorben. Bei Martapura war die Urbarmachung noch in Betrieb, und auf Stücken in der Nähe, die drei Jahre vorher urbar gemacht worden waren, hatte man einen für Borneo außerordentlich hohen Ertrag, nämlich 37 dz/ha geerntet.

In diesen Reisfeldern kam aber in tieferen Schichten ein schädliches Quantum Salze vor. Bei Martapura war eine 30 cm mächtige anmoorige Schicht (Org. Stoff 17,7%) über einem dunkelgrauen Ton. Darin wurde eine ca. 50 cm tiefe Bohrung gemacht, in der sich das unter dem Moor stehende Grundwasser sammelte. Schon bei der vorläufigen örtlichen Untersuchung zeigte sich ein hoher Sulfatgehalt. Das Wasser war ziemlich sauer (pH 4,0). Die Untersuchung der Probe im Laboratorium ergab:

	mg/l
Trockenrückstand . . . . .	1046
Glühverlust. . . . .	296
Glührückstand . . . . .	750
Eisenoxyd, $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . . . . .	1,0
Aluminiumoxyd, $\text{Al}_2\text{O}_3$ . . . . .	52,6
Kalk, $\text{CaO}$ . . . . .	135,5
Schwefelsäure, $\text{SO}_3$	389,3

Bei einem so hohen Gehalt an Aluminiumsulfat muß dieses Wasser als für den Reisbau schädlich angesehen werden.

Wenn wir uns fragen, wie es möglich ist, daß über einem solch schädlichen Wasser ein Ertrag von 37 dz/ha erzielt werden konnte, so erklärt sich dies durch die hier stattgefundene ausgiebige Berieselung, welche das Aufsteigen des giftigen Grundwassers verhindert hat. Freilich gilt das nur für die Trockenzeit. Weil Dämme fehlten, kam viel «Bandjirwasser» über das Feld. Dies war erkennbar am geringen Gehalte der obersten Schichten (anmoorige Oberkrume und unmittelbar darunter liegende Schicht) an Wasserlöslichem:

	Probe Nr.	Trockenrückst.	SO <sub>4</sub>
Moorboden 0—30 cm	58822	0,181	0,033%
Dunkelgrauer Ton un- mittelbar unter 30 cm	58823	0,169	0,034%

Die Wurzeln der Gewächse, die kurz vor meinem Besuche geerntet worden waren, hatten sich in der ganzen anmoorigen Schicht (30 cm) ausgebreitet. Im ungedämmten Feld wie bei Martapura bemerkt man deshalb wenig von der Anwesenheit schädlicher Verbindungen, weil die Überschwemmung viel Wasser mit sich bringt, so daß von einem Aufsteigen des Grundwassers zur Oberkrume keine Rede sein kann.

Der Zustand kann sich aber ändern, wenn durch Dämmung der Wasserzufluß vermindert wird.

Im allgemeinen ist es nötig, vor der Ausführung von Berieselungsanlagen eine bodenkundliche Erforschung des zu bewässernden Gebietes durchzuführen. Hier im Sumpfgebiet bedarf, wie dies aus dem Vorstehenden ersichtlich ist, der Untergrund besonderer Berücksichtigung, um, falls giftige Stoffe vorkommen, die Art und die Intensität der gewünschten Berieselung beurteilen zu können. Besonders wenn der Untergrund eine große Menge von Sulfaten aufweist, ist eine größere Wassermenge erforderlich und eine Entwässerung mit tiefen Gräben notwendig.

#### *Literatur.*

1. *Ijzerman, J. W., van Bemmelen, J. F., Koorders, S. H. en Bakhuis, L. H.*: Dwars door Sumatra. 1895.  
*Potonié, H.*: Die Tropen-Sumpfflachmoornatur der Moore des produktiven Karbons. Jahrb. Kgl. Preuß. Geol. Landesanst. 1909, 30, T. 1.
2. *Polak, E.*: Über Torf und Moor in Niederl. Indien. Verh. Kon. Akad. v. Wetensch. Afd. Natuurk. 2e Sectie. 30, 3, 1933.
3. *Fleischer, M. u. a.*: Die natürlichen Feinde der Rimpauschen Moordammkultur. Landw. Jahrb. 15 (1886), S. 47—115.
4. *Cramley, J. F.*: Salts in soils and waters of the South Coast of Porto Rico. Porto Rico Agr. Exp. Sta. 1915, Bull. 9.
5. *Miyake, K.*: The toxic action of soluble aluminiumsalts upon the growth of the riceplant. Journ. Biol. Chem. 25, 1916, 23.
6. *White, J. Th.*: Geologische bouw, landschapsvorm en grondgesteldheid van den Tandjong Selat Djaran beschouwd als een element van het Oost-Sumatraansche landschap. (Amtlicher Bericht, nicht veröffentlicht. Buitenzorg. 1922.)

# **Beilage zur Abhandlung Nr. 54**

von *van Dijk*

Beilage zur Abhandlung 54 von van Dijk

Grube	Kollektions- Nummer	Tiefe in cm	Stand der Gewächse	Korngröße			Orga- nische Stoffe	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		K <sub>2</sub> O		CaO löslich in 2% HCl	MgO löslich in 2% HCl	pH		wasserflüchlich (100 gr Boden + 500 ccm Wasser)					pH Wasser- bacter.		
				Sand	Schluff	Ton		1. u. 2. 25% Zitr.S.	1. u. 2. 25% HCl	H <sub>2</sub> O	KCl (norm.)			Asamg. mg/g	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	SiO <sub>2</sub>				
3	58836	0—15	sehr gut	—	—	—	12,13	—	—	—	—	—	—	—	—	0,294	0,008	—	—	0,044	0,002	5,1	
	58837	15—45		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,043	0,005	—	—	0,004	0,004	7,6
	58838	45		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,353	0,059	—	—	0,033	0,047	4,1
	58842	0—25		16,4	24,9	58,7	18,17	0,032	0,006	0,019	0,017	0,650	0,290	4,8	4,0	0,274	0,012	0,012	—	0,044	0,076	5,6	
5	58843	25—35	sehr gut	5,2	15,7	79,1	7,46	0,006	0,003	0,011	0,007	0,180	0,087	3,7	3,3	0,274	0,012	0,015	0,007	0,032	0,077	4,4	
	58844	35		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,077	sp.	—	—	0,010	0,009	7,0
	58845	0—15		8,6	33,5	57,9	5,95	0,050	0,018	0,026	0,015	0,376	0,538	4,7	3,6	0,160	0,006	0,006	sp.	0,019	0,029	6,5	
	58846	15—55		7,2	48,5	44,3	1,64	0,073	0,007	0,026	0,009	0,116	0,607	6,1	5,0	0,061	sp.	0,011	0,004	0,011	0,004	7,8	
10	58847	55	sehr gut	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,051	sp.	—	—	0,005	0,004	7,0	
	58857	0—5		28,7	24,8	46,5	18,63	0,045	0,015	0,026	0,015	0,376	0,538	4,7	3,6	0,459	0,020	0,020	—	0,067	0,115	6,2	
	58858	5—60		2,5	19,5	78,0	12,48	0,017	0,007	0,025	0,009	0,446	0,607	6,1	5,0	0,146	0,001	0,020	0,025	0,020	0,025	7,2	
	58859	60		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,169	0,001	0,030	0,053	5,5		
16	58875	0—12	ziemlich gut	—	—	—	10,30	—	—	—	—	—	—	—	—	0,295	0,003	0,171	0,002	0,052	0,098	5,3	
	58876	12—30		—	—	—	8,60	—	—	—	—	—	—	—	—	0,070	sp.	—	—	0,030	0,057	6,0	
	58877	30		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,070	sp.	—	—	0,011	0,024	6,4
	58833	0—50		—	—	—	3,36	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,070	0,001	0,006	0,008	7,0		
2	58834	50—65	Trocken- schaden	—	—	—	0,78	—	—	—	—	—	—	—	—	0,086	0,001	0,010	0,009	0,007	0,008	7,1	
	58835	65		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,050	0,001	—	—	—	—	—
	58866	0—10		8,9	40,7	50,4	16,14	0,032	0,003	0,022	0,006	0,480	0,112	4,6	4,0	0,335	0,015	—	—	0,052	0,107	5,1	
	58867	10—50		1,5	24,9	73,6	3,51	0,005	—	0,016	0,006	0,204	0,115	4,5	3,7	1,966	sp.	0,170	0,130	0,015	0,053	6,0	
13	58868	50	Trocken- schaden	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,365	0,015	—	—	0,159	—	3,1
	58872	0—15		9,4	28,5	62,1	25,19	0,035	0,008	0,017	0,007	0,163	0,153	4,1	3,6	0,487	0,031	—	—	0,074	0,151	4,5	
	58873	15—55		4,9	30,9	64,2	16,85	0,006	0,004	0,014	0,007	0,212	0,096	2,9	—	1,341	0,237	0,101	0,133	0,073	0,212	3,4	
	58874	55		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,528	0,025	0,010	0,015	0,018	0,096	3,2
18	58881	0—10	schlecht	1,2	22,8	76,0	22,91	0,070	0,025	0,022	0,013	0,182	0,090	4,3	3,7	0,271	0,012	—	—	0,034	0,086	5,0	
	58882	10—55		—	—	—	6,17	0,004	0,004	0,015	0,008	0,166	0,068	4,2	3,5	0,070	sp.	0,012	0,014	0,012	0,014	4,8	
	58883	55		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2,032	0,415	0,014	0,101	0,148	0,396	3,1
	58888	0—10		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,819	0,048	—	—	0,126	0,240	4,6
21	58889	10—20	schlecht	20,3	33,7	46,0	4,98	0,189	0,088	0,023	0,015	0,136	0,070	3,8	3,9	0,424	0,022	—	—	0,074	0,173	4,3	
	58890	20		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,149	sp.	—	—	0,028	0,069	6,7
	58891	0—15		5,3	24,5	70,2	12,32	0,029	0,007	0,017	0,005	0,552	0,228	4,3	3,5	0,439	0,007	—	—	0,084	0,120	5,2	
	58892	15		2,4	24,1	73,5	1,62	0,005	0,002	0,017	0,008	0,213	0,106	4,0	3,4	0,203	0,001	—	—	0,036	0,083	4,7	
23	58893	0—15	brach	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,358	0,013	—	—	0,033	0,108	4,2	
	58894	15—20		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,188	0,001	—	—	0,071	0,071	6,3
	58895	20—75		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,338	0,002	—	—	0,033	0,108	4,2
	58896	75		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4,953	1,307	0,408	0,839	0,156	2,391	2,6
24	58897	0—10	schlecht	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,495	0,024	—	—	0,088	0,206	4,8	
	58898	10—20		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,139	sp.	—	—	0,022	0,058	6,3
	58899	20—30		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,014	0,001	—	—	0,039	0,109	4,4
	58900	30—70		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5,517	1,995	1,178	0,517	0,085	2,747	—
25	58901	0—10	ziemlich schlecht	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,116	0,185	—	—	0,150	0,316	4,5	
	58902	10—20		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,128	sp.	—	—	0,023	0,052	5,8
	58903	20—30		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,169	0,001	—	—	0,030	0,059	5,1
	58904	30—70		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4,897	1,251	1,178	0,053	0,138	2,319	2,6



## **IX. Verschiedenes**

### **Sujets divers — Miscellaneous**

#### **55. A New Laboratory Method for Measuring the Effects of Land Amelioration Processes**

By

Dr. G. W. Scott Blair, Rothamsted Experimental Station,  
Harpenden, England.

The first sentence of *Fausser's* book, «Kulturtechnische Bodenverbesserungen»<sup>1)</sup> defines land amelioration processes in the following terms:

«Unter kulturtechnischen Bodenverbesserungen (Meliorationen) verstehen wir alle jene technischen Maßnahmen, die auf eine dauernde Verbesserung und Ertragssteigerung des landwirtschaftlich genützten oder zur landwirtschaftlichen Benützung in Aussicht genommenen Grund und Bodens oder auf die dauernde Erleichterung seiner Bewirtschaftung abzielen.» As *Fausser* points out, the upper part of the soil which is affected by such processes is wholly or in part characterised by a crumb structure, and it is to produce such a crumb structure, suitable with respect to both toughness and moisture content, that soil amelioration processes are used. It is clearly not sufficient to judge the effects of drainage, irrigation, etc. in terms of the resulting moisture contents of the soil alone, and the «Kulturtechniker» is familiar with many tests, all to a certain extent indirect, to help him to judge the optimum conditions for his processes. These are fully described in the text book already quoted. The most direct method of assessing crumb structure would seem to be to subject the crumbs to crushing, and measure the forces required to deform and rupture them. This has been done by a number of workers, but is subject to the criticism that it neglects the all-important factor of the packing of the crumbs in the field. There are really three factors to be investigated:

<sup>1)</sup> Publ. Walter de Gruyter & Co., Berlin, 1935.

- (1) Moisture content.
- (2) Flow and rupture properties of individual crumbs.
- (3) Capacity of crumbs to alter their packing under load.

On these three factors depend the conditions of water flow and aeration in the soil as well as its resistance to the thrusts of growing plant roots.

The best integrated measure of these properties is the compression load-deformation curve, since the complex shape of this curve will depend on the rupture, repacking, and deformation of the soil crumbs. The relative importance of these three factors will itself depend on the moisture, crumb structure and superficial looseness of the soil. It is clear that to determine this curve, the field soil must be loaded with a weight having a cross-sectional area considerably greater than that of any individual lump of soil likely to be encountered, and since the loads per unit area should be comparable with those obtained in practical field operations, the apparatus is large and cumbersome. The results of such measurements are at first hard to interpret owing to difficulties in controlling such factors as the rate of application of load, nor can the technique be conveniently applied to layers of soil at different distances from the surface. Such field methods, are, however, being developed by the writer, and the results are distinctly encouraging. A description of these field experiments, as well as of the laboratory technique described in the present paper, and an account of their general application to soil science, is being published in the *Journal of Agricultural Science*.

There are two methods by which soils may be prepared for laboratory tests,

- (1) by very carefully transferring small samples of soil from the field to the laboratory, or

- (2) by imitating soil amelioration processes in model „fields” in the laboratory itself and studying the results „in situ”.

The work is still in its preliminary stages, but it seems as though, in spite of difficulties in moving the soil without disturbance, the former method is going to be more satisfactory than the latter, at any rate for soil amelioration studies where superficial cultivation effects are unimportant.

When soil is compressed in the field by gradually lowering a weight on to its surface, although the shape of the load-deformation curve is extremely complex, it is found that over a considerable range, the compacting of a soil in reasonably good tilth produces a deformation which is approximately proportional to the square root of the load. The condition of crumb structure defines how closely this empirical correction for compacting over- or under-estimates the true state of affairs. A soil where crumb-rupture is almost absent, whether by reason of a powdery consistency, when re-packing of small particles predominates, or in waterlogged conditions, where flow is the principal factor or in hard caked conditions where the total compressibility is low, is over-compensated in fitting the square-root law, whereas a heavy preponderance of crumb-rupture and even of re-distribution of large lumps, produces conditions where the

$\sqrt{\text{load}}$ -deformation curve is curved in the opposite sense throughout a considerable part of its course. (The last two types may be distinguished by the smoothness or otherwise of the curve.)

It thus appears that for laboratory studies, an apparatus is required which will apply an ever-increasing load to the surface of a soil sample tested as nearly as possible in its field-condition, and that it is advantageous that the apparatus should draw a curve for the deformation produced plotted against the square root of the load built up. The deviations of such curves from linearity throughout different portions of their lengths should be able to be interpreted in terms of the conditions of the soil to show both the type of amelioration required and, after treatment, the effects that have been produced.

### *The apparatus.*

The apparatus is shown in Fig. 1. (A) is an enamelled metal tray (20 cm.  $\times$  15 cm.) containing a layer of soil 2.5 cm. deep. (The effect of depth of layer has been investigated and the depth here quoted has been found satisfactory.) This tray is hung by four chains and counterpoised by a bucket containing water (B). A constant speed motor (C), operating through a suitable worm gearing, causes the tray to rise at a constant and very slow 2.35 mm. per minute. A lead weight (D) (= 1670 g.) is hung from the beam (E) of a counterpoised balance resting on knife edges (F). The weight is a cylinder of diameter 6.0 cm. It is hung from a point just above its centre of gravity, the suspension passing upward through a wide enough hole to allow for a maximum of about 10° of tilt if the surface of the soil is uneven. The force tending to right the weight is extremely small. Except at the lower end, the suspension is of steel wire to avoid errors due to elasticity in the suspending thread.

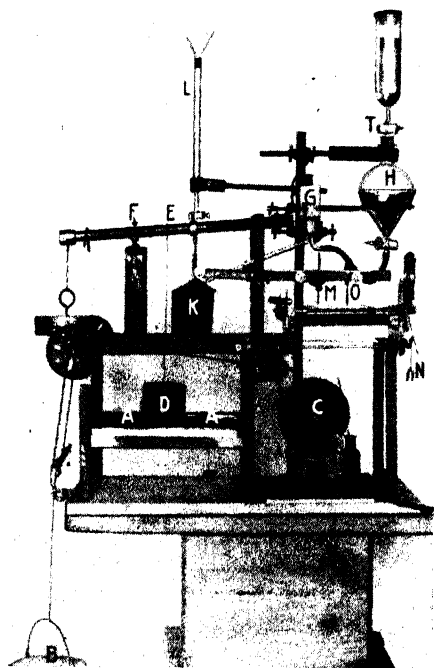


Fig. 1

As the rising soil surface tends to take up the load of the weight, the beam of the balance rises, thereby opening a valve (G) which allows mercury, stored in the container (H) and kept at a constant



head by adjustment of the tap (T), to run into the bucket (K) which is hung on the same arm of the balance as (D). This compensates for the change in load produced by the gradual lifting of (D). The bucket (K) has two of its sides parallel and two sloping, so that the height of the mercury collected is proportional to the square root of its mass, and hence to the square root of the load pressing onto the soil. The bottom of (K) is made flat, and before each test, 2.5 c.c. of mercury is run in from the burette (L) to cover this flat bottom. On this layer of mercury floats a small steel weight attached by means of a cotton passing over pulleys to a pen (M), the other end of whose holder is again attached to a smaller counterpoise weight (N). As the mercury lifts the weight in (K), (N) pulls the pen (M) across the paper which is attached to a glass sheet by two rubber bands. The glass sheet is driven in a direction at right angles to the movement of (M) by a second gearing from the motor (C), so that (M) traces a curve whose ordinate is proportional to the square root of the load on the soil, and whose abscissa is proportional to the amount of deformation. The two axes are drawn, one by raising and lowering (N) before the test, and the other by the second pen (O) attached rigidly to the frame, which is aligned so that the two lines so produced are at right-angles. The total load represented in the diagrams amounts to 59 g/cm<sup>2</sup>, though, since only a part of the surface of the weight is in contact with the soil during much of the run, much higher local stresses must be produced. Work with a larger weight has also been carried out, but it is difficult to prevent weights giving high loads per cm<sup>2</sup> from becoming unduly top-heavy. Once the motor has been started, it will be observed that the whole process, including the drawing of the curves, is automatic, except only for the adjustment of the tap (T), which is a matter of secondary importance.

#### *The shape of the curves obtained.*

A few curves traced from those drawn by the apparatus, are reproduced in Fig. 2. The first three were obtained from sand. No. (1) shows dry sand, only very slightly compressible, and forming no appreciable aggregates. No. (2) shows the same sand wetted until coherence into soft aggregates was about at its optimum, the surface being uneven. No. (3) shows effect of the addition of excess water so that aggregate structure is almost destroyed. No. (1) is typical of a structureless material, the curve being smooth and concave to the deformation axis throughout, whereas No. (2) is characteristic of crumb structure in being convex. The lower part of the curve has a step-ladder appearance corresponding to the breaking of individual aggregates. These steps are very small, and are just visible in the figure. In No. (3) the convex portion is very small, being entirely confined to the region of very low stress, such structure as was present being rapidly destroyed, the rest of the curve being concave like No. (1). Nos. (4—6) were obtained from a 2 mm. sieved soil. No. (4) was air-dry, with hard, incompressible crumbs of small size, and showing a curve resembling that for dry sand. No. (5) was from

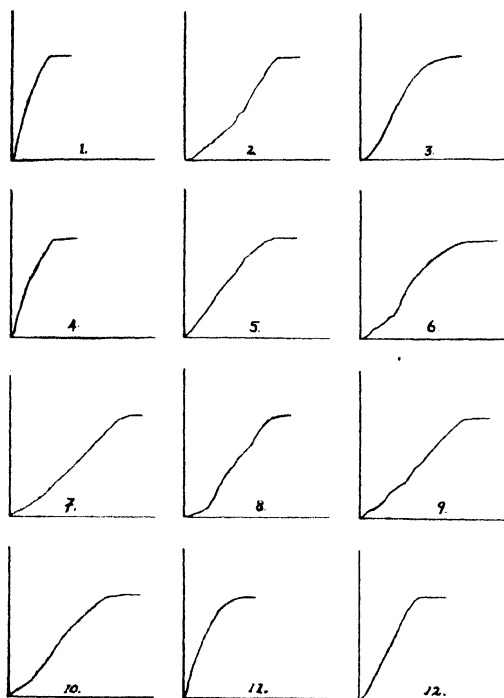


Fig. II

the same soil wetted to the sticky point («Klebegrenze»), the moisture on a wet basis (M) being 30.6 per cent. In this curve the convex and concave tendencies approximately cancel over a considerable range, and the unevennesses are slight. No. (6) was obtained by drying out to a point just about the lower plastic limit (Ausrollgrenze), (M) being 23.7. Here the lower part of the curve is convex, characterised by marked, but small „steps”, indicating rather a hard crumb structure. This series represents formally the effects of irrigation and subsequent drying on an initially dry soil. The first six curves

give us some idea of what to expect when we come to examine field soils, and the remaining six (Nos. 7—12) were obtained from soils carefully transferred from the field, and untreated in the laboratory, except in that they were allowed gradually to dry out. No. (7) is typical of a well manured, well drained garden soil in good condition (somewhat on the wet side), and having small crumbs of good consistency (M = 24.0). This moisture corresponds to the sticky-point (Klebegrenze). The compressibility is high, and the curve convex to the deformation axis throughout most of its length. A slight step-ladder effect is to be seen at low stresses, but the steps are exceedingly small. No. (8) shows the same soil dried out to M = 19.1, a moisture very near to the lower plastic limit (Ausrollgrenze), 19.4. The compressibility is reduced, the curve is less smooth, but except for a sharper inflexion at low stresses due to a rather tougher unevenness of the surface, the general shape of the curve is not much affected. No. (9) shows the subsoil (30 cm. approx.) below the same spot at almost the same moisture content as No. (8) (M = 19.3). The lower plastic limit for this soil is 19.0. The unevennesses due to hard lumps of unweathered clay are quite apparent. No. (10) comes from the top of a furrow in a ploughed field in fair tilth and No. (11) shows the same soil dried from M = 18.2 to M = 16.0. (The sticky-point was 19.2, and the lower plastic limit, 16.9.) The crumb structure was such that, unlike the garden soil, quite slight drying has rendered the soil

hard and incompressible. On drying still further a „step-ladder“ curve was obtained, but the steps were irregular and large, and could be seen to correspond to the changes in packing of hard intractable lumps of soil. No. (12) should be compared with No. (10). The sample was taken at the same time, from the same field, but came from a hollow badly in need of drainage ( $M = 22.9$ ). The curve is almost linear, and shows a small total compressibility. This is typical of a number of tests taken from „damp spots“, and indicates that the compression curves give information about the condition of the soil with respect to drainage.

### *Conclusions.*

The curves reproduced in Fig. 2 are typical of a great many that have been obtained. They show that differences in slope, curvature and smoothness correspond to differences in the nature of the soil in respect to moisture and to crumb-compressibility, -strength, and -packing. The method is subject to the criticism levelled at all laboratory tests that the soil from the field must be somewhat disturbed before it can be tested, but although slight cultural differences are undoubtedly lost in transportation, broad effects due to, or indicating a need for, amelioration processes are faithfully reproduced. An understanding of the significance of the curves will help in the interpretation of data obtained by means of the more cumbersome and less controllable field technique.

The author is indebted to Mr. *D. Morland* for much help in the making of the apparatus, which was constructed in the Rothamsted workshop.

## 56. Das Gefüge des Bodens und dessen Kennzeichnung

Von

Prof. Dr. Ing. *Josef Donat*, Wien, Österreich.

Der Wasserhaushalt eines Bodens ist, abgesehen von den klimatischen Bedingungen, zum überwiegenden Teile von der Art und Weise der räumlichen Anordnung der Bodenkörner abhängig, die wir unter den Begriff des Bodengefüges, der Bodenstruktur, zusammenfassen.

Je nachdem, ob die Bodenteilechen in gleichförmiger Verteilung nebeneinander lagern, oder ob jeweils eine Vielzahl von ihnen zu voneinander scharf getrennten, traubenartigen Verbänden höherer Ordnung, den Krümeln, zusammengeschlossen ist, unterscheidet man zwischen dem *Einzelkorngefüge* und dem *Krümelgefüge*, oder auch zwischen strukturlosen Böden und Strukturböden.

Damit ist eine allgemeine Einteilung dem Wesen nach gegeben, nicht aber ein Anhaltspunkt für die Erschließung der vom praktischen Standpunkt aus wichtigen mengenmäßigen Zusammenhänge. Die Ermittlung bzw. der Vergleich des Größensbetrages des Porenraumes von Böden kann nur als ein recht unvollkommener Notbehelf für die Kennzeichnung des Gefügezustandes und seiner Veränderungen gewertet werden; können doch Böden mit gleichem Porenvolumen sehr große Verschiedenheiten des Gefüges aufweisen und sich deshalb in bezug auf Wasserhaltung und Wasserführung sehr wesentlich voneinander unterscheiden. Wenngleich mit der Krümelung fast immer eine Vergrößerung des Porenraumes Hand in Hand geht, so kann doch fallweise ein hoher Betrag des Hohlraumes auch durch andere Ursachen bedingt sein. Zum Beispiel ist es ja bekannt, daß Schlammböden, die durch Absatz aus dem Meerwasser entstanden sind und die einen außerordentlich großen Porenraum bei gleichzeitiger Strukturlosigkeit aufweisen, erst stark schrumpfen müssen, ehe sie ein für den Pflanzenbau geeignetes Krümelgefüge erlangen.

Auch die Bestimmung der Größenverteilung der Bodenkrümel stellt nur einen höchst unzulänglichen Versuch zur Kennzeichnung des Bodenzustandes in dieser Richtung dar. Ganz abgesehen davon, daß sie eine weitgehende, in ihrem Ausmaß nicht erfäßbare Zerstörung der natürlichen Lagerung voraussetzt, erlaubt sie nur sehr eingeschränkt, einen Schluß auf das entscheidende Merkmal des Gefügezustandes zu ziehen, nämlich auf die Gestaltung des Porenraumes, mit andern Worten: auf die *Größenverteilung der Bodenporen*.

Ohne auf die Ursachen der Bodenkrümelung näher einzugehen, sei festgehalten, daß sich bei diesem Vorgange zu den engen Poren der Bodenkrümel, in denen das Wasser, ähnlich wie in dem in Einzelkorngefüge befindlichen Boden, schwer beweglich ist und überdies

mit großer Kraft kapillar festgehalten wird, neue Porenzüge von bedeutend größerer Lichtweite zwischen den Krümeln bilden, in welchen das Wasser nicht allein geringeren Reibungswiderständen, sondern auch wesentlich kleineren Kapillarkräften unterworfen ist und die obendrein den Pflanzenwurzeln eine leichte Ausbreitung ermöglichen. Damit kommen in einem solchen Krümelboden die Eigenschaften guter Wasserhaltung in den engen Poren mit jenen leichter Wasserbeweglichkeit und guter Durchlüftung sowie Durchwurzelungsmöglichkeit in den größeren Hohlräumen vereint zur Wirkung und liefern letzten Endes und in vollendetster Form den vom Landwirt erstrebten Bodenzustand, den wir als *Gare* bezeichnen.

Das wesentlichste Merkmal des Krümelgefüges ist demnach *das gleichzeitige überwiegende Vorhandensein zweier voneinander stark abweichender Porengrößen*, und es muß ganz von deren mengenmäßigen Anteilen am gesamten Bodenhohlraum abhängen, ob jeweils die Wasserhaltung oder die Wasserbeweglichkeit in den Vordergrund tritt, oder ob beide sich, den äußeren Bedingungen entsprechend, zu einem Bestwert der Wirksamkeit ergänzen.

### *1. Die Kennzeichnung des Bodengefüges.*

Eine befriedigende, sowohl das Wesen als auch die mengenmäßigen Beziehungen erfassende Beschreibung und Kennzeichnung des Gefügezustandes setzt demnach die Möglichkeit voraus, am natürlich gelagerten Boden neben dem Größenbetrag des Porenraumes auch die Größenverteilung der Bodenporen durch Messung feststellen zu können. Diese Aufgabe mag, angesichts der außerordentlich großen Mannigfaltigkeit der Größenabmessungen und der Formen der Poren eines natürlichen Bodens, als aussichtslos erscheinen; wie aber im folgenden gezeigt werden wird, steht doch einer mittelbaren Größenbestimmung nichts im Wege, wenn wir auch aus den erwähnten Gründen auf eine unmittelbare Ausmessung der Poren verzichten müssen.

Die Bestimmung des Porenvolumens eines Bodens aus dessen Artgewicht (spezifisches Gewicht) und dessen Raumgewicht darf als bekannt übergangen werden, so daß sich die folgenden Ausführungen auf die Bestimmung der Verteilung der Porengrößen beschränken können.

Diesem Zwecke dienten Versuche über das Festhaltevermögen des Bodens für Wasser, die mit einem geeignet gebauten Kapillarmeter durchgeführt wurden.

Ein *Kapillarmeter* (Wasserhaltungsmesser) ist ein Versuchsgerät, das es ermöglicht, den Wasserinhalt einer bestimmten Bodenprobe verschiedenen großen Saugspannungen in der Weise auszusetzen, daß sich durch Aufnahme oder Abgabe von Wasser in der Probe gerade jener Wassergehalt einstellen kann, der dem statischen Gleichgewichtszustand entspricht, wie er sich aus dem Gegeneinanderwirken von Kapillarkraft und Schwerkraft jeweils ergibt, und das es erlaubt, diesen Gleichgewichts-Wassergehalt zu messen. Ein derartiges, nunmehr während eines vollen Jahrzehnts erprobtes und bewährtes, sowohl

in der Herstellung als auch in der Bedienung außerordentlich einfaches Gerät hat Prof. Dr. R. Fischer<sup>1)</sup> von der Hochschule für Bodenkultur in Wien entworfen und ausgeführt. Es besteht im wesentlichen aus einem besonders zugerichteten Filtertiegel der Firma Schott, Jena, der die Bodenprobe aufnimmt, und aus einer 50-cm<sup>3</sup>-Bürette, welche beide durch einen genügend langen Schlauch verbunden sind und auf einem hinreichend hohen Gestell befestigt werden. Die für die nachfolgend beschriebenen Versuche verwendete Bauart des Filtertiegels, sowie die Gesamtanordnung der Meßeinrichtung ist in der Abb. 1 dargestellt.

Der Filtertiegel ist ein zylindrisches Glasgefäß von 66 mm Lichtweite und 50 mm Höhe, das nach unten zu trichterförmig in ein mit einem Hahn versehenes, am Ende spitz ausgezogenes Glasrohr übergeht. Der zylindrische Teil ist unten abgeschlossen durch eine eingeschmolzene, 2,5 mm dicke, gewölbte Filterplatte von derart feinkapillarem Bau, daß sie bei Unterdrücken von etwa 200 cm Wassersäule noch voll wassererfüllt und daher für Luft undurchlässig bleibt.

Nach Füllung des Gefäßteiles unterhalb der Tiegelbodens mit Wasser wird der Glashahn  $h_1$  geschlossen. Dann wird der Tiegel durch den wassergefüllten Schlauch mit der Bürette verbunden und auf dem Gestell G befestigt. Der Wasserstand in der Bürette B kann zweckmäßig mittels Speisung aus einem Vorratsgefäß V oder Ablassen von Wasser durch den Ablauf bei c in eine gewünschte Höhenlage gebracht werden. Zur Verwendung kommt bei diesen Versuchen gekochtes, also möglichst luftfreies destilliertes Wasser.

Beim Öffnen des Hahnes  $h_1$  wird zwischen T und B freie Verbindung hergestellt, wobei das Wasser auf der Tiegel-Seite, nach Maßgabe der Höhenlage über dem freien Wasserspiegel der Bürette, unter Saugspannung gesetzt wird. Durch Verstellung des Tiegels in lotrechter Richtung und Regelung des Wasserstandes in B kann das in der Filterplatte enthaltene Wasser in den Zustand eines beliebigen, zwischen Null und etwa 200 cm Wassersäule gelegenen Unterdruckes gebracht werden.

Beindet sich nun feuchter Boden in Berührung mit dem Filter, so daß ein Zusammenhang zwischen dem Wasserinhalt des Bodens und jenem der Filterplatte hergestellt ist, dann wird je nachdem, ob an der Trennungsfläche die Saugspannung im Filter größer oder kleiner ist als der durch die Kapillarkräfte im Bodenwasser hervor-

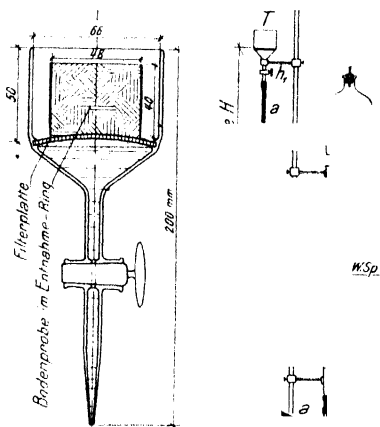


Abb. 1

<sup>1)</sup> Bisher nicht veröffentlicht.

gerufene Unterdruck, solange ein Absaugen von Wasser aus dem Boden oder eine Wasseraufnahme aus der Bürette erfolgen, bis der statische Gleichgewichtszustand erreicht ist, bei dem der Boden gerade soviel Wasser enthält, als die ausgelösten Kapillarkräfte gegen eine Saugspannung, entsprechend der zu messenden Saughöhe  $H$ , festzuhalten vermögen. Für  $H$  kann dabei, im Falle nicht zu großer Höhe der Bodenprobe, hinreichend genau der lotrechte Abstand des Tiegelbodens vom Büretten-Wasserspiegel gesetzt werden.

Den Wassergehalt bestimmt man in der Weise, daß nach Schließen des Hahnes  $h_1$  der Schlauch vom Tiegel abgestreift und dieser samt Inhalt gewogen wird. Das jeweilige Gesamtgewicht, vermindert um das Gewicht des trockenen Bodens und um jenes des Tiegels, einschließlich seiner unverändert bleibenden Wasserfüllung, ergibt den gesuchten Wassergehalt.

Der Zustand des statischen Gleichgewichtes ist dann erreicht, wenn die Gewichtsänderung zum Stillstand gekommen ist, was erfahrungsgemäß bei leichten Böden nach Ablauf von 2–3 Stunden, bei schwer durchlässigen, sehr feinkapillaren Böden nach 12 bis 24 Stunden praktisch erzielt wird.

Die Ergebnisse solcher Messungen werden vorteilhaft in einem Schaubild nach dem in Abb. 2 gezeigten Muster dargestellt. Lotrecht sind die Saugspannungen in cm Wassersäule, waagrecht die gemessenen Wassergehalte in Hundertsteln jenes Gehaltes aufgetragen, der zu Beginn

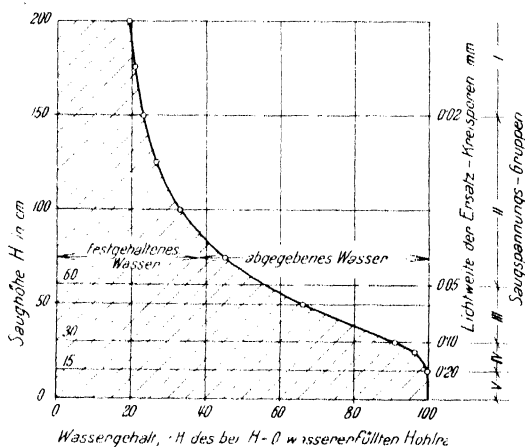


Abb. 2

des Versuches beim Unterdruck Null gefunden wurde. Die die Meßpunkte verbindende Linie stellt dann den gesuchten Zusammenhang zwischen dem Wassergehalt des Bodens und dem Unterdruck dar.

Es muß besonders hervorgehoben werden, daß sich die folgenden Ausführungen nur auf den Fall der stufenweise durchgeführten Entwässerung, ausgehend von  $H = 0$  und

endend bei  $H = 150$  cm beziehen, weil sich beim entgegengesetzt verlaufenden Vorgang der stufenweisen Saugspannungserniedrigung durch Wasserzufuhr, Kurven von abweichender Form ergeben. Auf die dieser Erscheinung zugrunde liegenden Ursachen braucht jedoch hier nicht eingegangen zu werden, weil sie in diesem Zusammenhang ohne Belang bleiben.

Vergegenwärtigen wir uns nun, wie eine derartige Linie wie jene der Abb. 2 zustandekommt. Wir lassen auf das in der Bodenprobe

enthaltene Wasser eine von Null an wachsende Saugspannung einwirken. Die Folge ist, daß sich das Wasser zunächst von der Oberfläche des Bodens unter Bildung von Menisken, deren Krümmungsmaß in bekannter Weise mit der Größe des Unterdruckes zusammenhängt, ins Innere der Bodenporen zurückzieht. Nun kommt aber jeder Porenweite ein bestimmtes Höchstmaß der Krümmung und damit der Tragkraft des sich bildenden Meniskus zu, bei deren Überschreitung die Pore nicht mehr voll erfüllt bleiben kann, sondern sich so weit entleeren muß, bis die das Maß der Spannung kennzeichnende Höhenlage des Meniskus über dem freien Wasserspiegel gerade dieser begrenzten Tragkraft entspricht. Beim Anstieg der Saugspannung wird sich demnach der Wassergehalt der Bodenprobe in

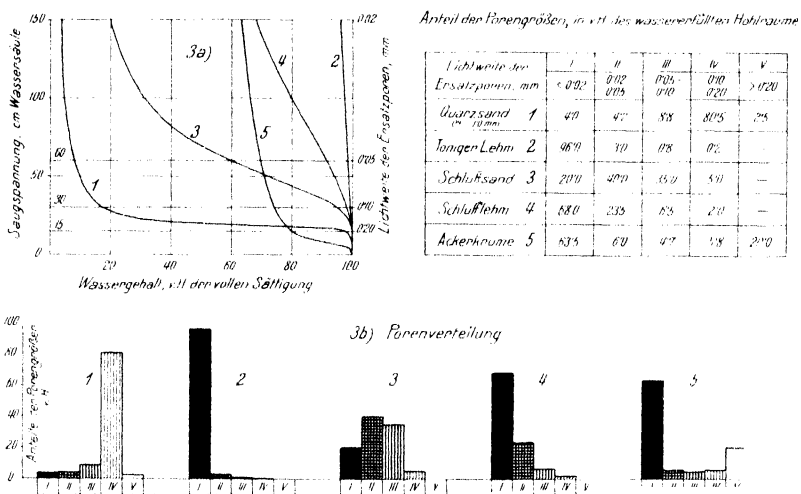


Abb. 3

der Weise verringern, daß zunächst die weitesten, und nachfolgend immer engere Bodenproben ihr Wasser verlieren, bis schließlich beim angewandten höchsten Spannungswert nur noch jene Hohlräume wassererfüllt bleiben, in denen sich, vermöge der kleinen Abmessungen ihrer engsten Stellen, noch Menisken von entsprechend großer Krümmung ausbilden können. Je mehr vom gesamten Sättigungs-Wassergehalt eines Bodens auf grobe Porenzüge entfällt, desto rascher wird bei wachsendem Unterdruck der Wassergehalt anfänglich abnehmen, desto flacher wird die Kurve, gemäß Abb. 2, in ihrem unteren Teil verlaufen. Umgekehrt kann bei Böden, in denen die feinkapillaren Hohlräume vorherrschen, diese Wassergehalts-Abnahme anfänglich nur langsam und erst im Bereich der hohen Spannungswerte in größerem Umfange erfolgen. Der Verlauf der *Saugspannungs-Wassergehalts-Linie*, im folgenden kurz als *S-W-Linie* bezeichnet, ermöglicht es uns daher, mittelbar einen Einblick in den Aufbau des Bodens hinsichtlich der Größenverteilung der Bodenporen zu gewinnen.



Zur Veranschaulichung dieses Gedankenganges mögen die fünf S-W-Linien der Abb. 3 beitragen.

Die Linie 1 ist an einem gereinigten und gesiebten Quarzsand von 0,5—1,0 mm Korngröße aufgenommen worden. 2 bezieht sich auf einen lehmigen Ton. Die mit 3 bezeichnete Linie entspricht einem Schluffsand, die mit 4 bezeichnete einem Schlufflehm und die Kurve 5 endlich bezieht sich auf die Probe einer Ackerkrume auf Löß-Untergrund. Es ist zu erwähnen, daß die meisten dieser Proben in natürlicher Lagerung zur Untersuchung gelangt sind.

Dies wird in der Weise erreicht, daß man den Boden mittels eines einseitig zugeschärften zylindrischen Ringes (im vorliegenden Falle von 48 mm Lichtweite und 40 mm Höhe) aus seiner natürlichen Lagerung austicht und, nach Wegschaben eines entsprechenden Bodenteiles, diese Ringprobe auf den gewölbten Tiegelboden so aufsetzt, daß eine satte Berührung zustande kommt. Damit bleibt bei vorsichtiger Handhabung das Naturgefüge des Bodens weitgehend erhalten.

Der Verlauf der Linie 1 läßt erkennen, daß der Sand nach einem Anstieg der Saugspannung auf 50 cm Wassersäule nur noch 10% des Sättigungswassers festhält, somit bereits 90% der Wassermenge abgegeben hat, die er im Zustand der Nullspannung festzuhalten vermochte. Wir müssen daraus schließen, daß der Hohlraum dieses Bodens sich fast ganz aus verhältnismäßig weiten Poren von recht einheitlicher Größe aufbaut. Sind diese einmal entleert, dann beschränkt sich das Restwasser im wesentlichen nur noch auf die Ringwülste um die Berührungsstellen der Bodenkörner und auf die der Teilchenoberfläche angelagerte Wasserhaut. In einem derartigen Sand fehlen also feinkapillare Porenzüge fast ganz.

Das Gegenstück hierzu stellt die S-W-Linie 2 dar. Selbst bei einem Unterdruck von 150 cm Wassersäule enthält der untersuchte Lehm Boden noch immer 96% des Sättigungswassers. Die Wasserabgabe war also sehr gering und hat sich zum Teil auf die Entleerung einiger weniger Hohlräume, zum Teil jedoch auf die Raumverminderung der Bodenprobe infolge der eingetretenen Schrumpfung erstreckt. Hier haben wir den Fall eines offensichtlichen Mangels an Bodenhohlräumen größerer Lichtweiten vor uns.

Die Linien 3 und 4 stellen Übergänge zwischen den beiden eben behandelten Mustern dar. Je nachdem sie sich der Linie 1 oder 2 mehr nähern, werden ihre Eigenschaften durch das einseitige Überwiegen grobkapillarer oder feinkapillarer Hohlräume bestimmt. Wenn auch solche Böden vom Standpunkt der Beurteilung des Gefügestandes sicherlich eine Verbesserung gegenüber den vollständig einseitigen Formen 1 und 2 darstellen, so sind sie doch noch weit entfernt von dem Zustande, den wir nach den einleitenden Ausführungen mit vollem Recht als Krümelgefüge bezeichnen dürfen.

Dies lehrt sehr eindringlich ein Blick auf die S-W-Linie 5 des Krumenbodens. Wie finden hier mit zunehmendem Unterdruck eine zunächst sehr große, weiterhin aber trotz noch beträchtlichen Wassergehaltes fast verschwindende Wasserabgabe. Wir können daraus folgern, daß das nach vollzogener Entleerung grober Porenzüge in

noch erheblichen Mengen im Boden verbleibende Restwasser mit großer Kraft festgehalten wird, sich demnach in sehr feinkapillaren Räumen befinden muß. Wir haben es hier mit einem Nebeneinanderbestehen der Bedingungen guter Wasserhaltung und leichter Wasserbeweglichkeit zu tun, also mit dem Fall, der als vor allem kennzeichnend für das Krümelgefüge hervorgehoben worden ist.

Der Unterschied der 5 behandelten Bodenarten kommt in dem Verlauf der zugehörigen S-W-Linien so anschaulich zum Ausdruck, daß schon diese Kurven allein ein recht gutes Urteil über die jeweilige Beschaffenheit des Bodengefüges gewinnen lassen.

Um nun dieses Urteil auch auf das Gebiet des Mengenmäßigen ausdehnen zu können, ist es notwendig, die im Boden vorhandenen Poren der verschiedensten Lichtweiten in einzelne abgestufte Größenklassen einzuordnen, ähnlich wie bei der Bestimmung der Kornzusammensetzung eines Bodens die verschieden großen Bodenteilchen zu einzelnen Größengruppen zusammengefaßt werden. Vorbedingung des Vergleiches ist auch hier, daß wir die außerordentlich große Mannigfaltigkeit der Querschnittsformen ausschalten, indem wir auf eine ideelle, wirkungsgleiche Porengestalt beziehen. Es ist am nächsten liegend, hierfür den Kreisquerschnitt zu verwenden. Wir dürfen dies um so eher, als wir damit nur eine Grundlage für eine Größenabstufung gewinnen wollen, keinesfalls aber beabsichtigen, die Abmessungen dieser Ersatz-Kreis-poren zu weitergehenden mechanischen Schlüssen zu verwenden.

Als Maßstab für die Kennzeichnung der Porenlichtweiten können wir dann die nach den früheren Ausführungen der Messung leicht zugänglichen Unterschiede in der Stärke der Wasserbindung verwenden, die in der Tragkraft der Menisken zum Ausdruck kommt. Die letzte Größe steht nun mit der Lichtweite der Kreispore in einfacher Beziehung.

Allgemein vermag in einem Haarröhrchen von der Querschnittsfläche  $F$  und dem Querschnittsumfang  $U$  der sich bildende Meniskus eine Wassersäule von der Höhe

$$H = \frac{\sigma \cdot U}{\gamma \cdot F} \quad (1)$$

zu tragen. Darin ist  $\gamma$  das spezifische Gewicht und  $\sigma$  die Oberflächenspannung des Wassers.

Für die Kreiskapillare vom Durchmesser  $d$  gilt dann im Millimetermaß genügend genau

$$H = \frac{30}{d} \quad (2)$$

Danach ist jedem Kreisporen-Durchmesser eine größte Saughöhe  $H$  zugeordnet, die nicht überschritten werden kann. Die Gleichung 2 ermöglicht die Berechnung der folgenden Zahlentafel, in der für  $d$  die bei der Beurteilung der Körnung eines Bodens gebräuchlichen Zahlenwerte eingeführt worden sind.

Lichtweite der Kreispore.	1	0,5	0,2	0,1	0,05	0,02 mm
Größte Saughöhe $H$ .	30	60	150	300	600	1500 mm

Wir ziehen nun die folgenden Schlüsse:

1. Jenes Wasser, das gegen eine Saugspannung von z. B. 150 cm Wassersäule im Boden festgehalten wird, ist so stark gebunden, als wenn es sich in Kreiskapillaren befände, deren Lichtweite kleiner oder höchstens gleich 0,02 mm ist.

2. Hat ein Boden bei der Erhöhung der Saugspannung von z. B. 60 cm auf 150 cm Wassersäule eine bestimmte Wassermenge verloren, dann war dieses Wasser im Boden so fest gebunden, als ob es sich in Kreiskapillaren von mindestens 0,02 mm und höchstens 0,05 mm Lichtweite befunden hätte.

Auf diese Weise, die sich sinngemäß verallgemeinern läßt, wird die geforderte Abstufung der Porengrößen durch die Unterteilung des Saugspannungsbereiches gleichwertig ersetzt. Wenn also im folgenden von der Lichtweite von Ersatzporen gesprochen wird, so ist dies nur bildlich zu nehmen. Maßgebend ist ja die Bindungsstärke des Kapillarwassers, die nach Belieben auch unmittelbar durch die angeführten Spannungsgrenzen in einzelne Bereiche abgestuft werden kann. Das Endergebnis ist naturgemäß das gleiche.

Jede Änderung der Größenverteilung der wirklichen Bodenporen hat zwangsläufig eine Änderung der kapillaren Festhaltung des Wassers zur Folge und muß daher auch in einer gleichgerichteten Verschiebung der Verteilung der Ersatzporen zum Ausdruck kommen. Wenn auf diese Weise eine mengenmäßige Beschreibung der Gestaltung des Porenraumes eines Bodens und ein dahingehender zahlenmäßiger Vergleich verschiedener Böden ohne weiteres möglich ist, so ist es doch wünschenswert, einen Anhaltspunkt über die tatsächliche Porengröße im Verhältnis zum Kreisquerschnitt der Ersatzpore zu gewinnen. Die Gleichung 1 läßt auf diesen Zusammenhang zumindest für ein vollkommen starres Haufwerk gleich großer Kugeln schließen. Die Aussage kann sich dabei jedoch nur auf die Größenabmessung der kleinsten Porenquerschnitte erstrecken.

Nach Gleichung 1 ist die Tragkraft des Meniskus abhängig vom Verhältnis  $U : F$  des Haarröhrchen-Querschnittes. Je mehr dessen Form von der Kreisgestalt abweicht, für welche  $U : F$  den Kleinstwert annimmt, desto größer wird der mögliche Unterdruck, bei dem die Pore noch voll erfüllt bleibt. Bei gleichbleibender Saughöhe  $H$  wird demnach mit steigendem Verhältnis  $U : F$  die Porenquerschnittsfläche, in der sich noch ein Meniskus von hinreichender Tragfähigkeit zu bilden vermag, in gleicher Weise zunehmen. Für ein Kugelhaufwerk in lockerster und dichtester Lagerung läßt sich leicht berechnen, daß die Menisken in den von vier bzw. drei sich berührenden Kreisbögen begrenzten engsten Porenquerschnitten gegenüber einem flächengleichen Kreis die 1,92fache bzw. 2,21fache Tragkraft zu entwickeln in der Lage sind. Da sich ferner für einen rechteckigen Schlitz vom Seitenverhältnis 1 : 10 sinngemäß die Zahl 1,97 ergibt, dürfte man mit der Schätzung nicht weit fehlgehen, daß die Bodenporen, die bei gegebenem Unterdruck gerade noch gefüllt bleiben, an ihren engsten Stellen der Fläche nach etwa doppelt so groß sind als die ihnen nach obigem zugeordneten wirkungsgleichen Ersatz-Porenquerschnitte.

In den Abbildungen 2 und 3a ist der von Null bis 150 cm Wassersäule reichende Saugspannungsbereich durch Waagrechte in den Höhen 60, 30 und 15 cm unterteilt worden, wodurch es möglich ist, das gesamte Bodenwasser nach der Stärke seiner kapillaren Bindung in 5 Gruppen zu unterscheiden, oder was diesem gleichkommt, die Ersatzporen in 5 Größenklassen einzureihen, und zwar:

Gruppe . . . . .	I	II	III	IV	V
Saugspannung . . . .	>150	150—60	60—30	30—15	<15 cm
Lichtweite der Ersatz-	<0,02	0,02—	0,05	0,10—	>0,20 mm
poren . . . . .		0,05	0,10	0,20	

Aus den S-W-Linien können nun die auf diese 5 Teilbereiche entfallenden Anteile am Höchstwassergehalt ermittelt und entweder in einer Zahlentafel, gemäß der in Abb. 3 gebrachten, oder übersichtlicher in einem weiteren Schaubild, wie in Abb. 3b, dargestellt werden.

Besonders die letztangeführte Darstellungsart, bei welcher waagrecht die Porengruppen, lotrecht die auf deren Bereiche entfallenden Raumanteile des Sättigungswassers aufgetragen werden, liefern ein sehr aufschlußreiches Bild über die Größenverteilung der Bodenporen und zeigen noch viel deutlicher als die Darstellungsweise von 3a die früher besprochenen Verschiedenheiten der 5 behandelten Bodenarten. Das Verteilungsbild 5 für die Ackerkrume ergibt in sehr bezeichnender Weise, abweichend von den übrigen Proben, zwei ausgeprägte Höchstwerte, die auf die äußersten Porengruppen I und V entfallen. Wie später gezeigt wird, können auf diese Weise auch sehr geringfügige Änderungen des Gefügezustandes eines Bodens zum Ausdruck gebracht werden.

Darüber soll allerdings nicht übersehen werden, daß der Genauigkeit in diesen Belangen doch immerhin gewisse Grenzen gezogen sind, die im Verfahren selbst begründet sind und auf die hier noch kurz eingegangen werden muß.

Es ist da vor allem auf den möglichen störenden Einfluß der *Raumänderung* des Bodens durch Schrumpfung im Verlaufe der Untersuchungen hinzuweisen. Die Porenverteilung wäre dann genau erfäßbar, wenn der Boden während des Versuches starr bliebe, die Porenlichtweiten und damit die Stärke der Wasserbindung sich nicht änderten. Dies trifft nun nicht immer ganz zu, weil infolge des zunehmenden Kapillardruckes auf die Bodenoberfläche der Entwässerung der Hohlräume eine Abnahme der Lichtweiten der Poren vorhergehen kann. Dadurch könnte einerseits eine Entleerung größerer Porenzüge vorgetäuscht werden, während in Wirklichkeit alle Hohlräume noch voll mit Wasser erfüllt sind, anderseits aber würde der Anteil der feinsten berücksichtigten Poren zu hoch eingeschätzt werden, da Poren dieser Größen zum Teil erst während des Versuches entstanden sein können. Die Verzerrungen des auf diese Weise erhaltenen Bildes sind vor allem bei stark humushaltigen Böden (Torf) aber auch bei Tonböden, die in sehr wasserreichem Zustande zur Verwendung gelangen, zu gewärtigen. Bei den natürlich gelagerten Böden, die infolge der Belastung durch darüberlagernde Bodenschichten oder durch den in der Natur vor sich gehenden steten

Wechsel des Kapillardruckes eine weitgehende Verfestigung erfahren haben, ist das Schwindungsmaß innerhalb des angewandten Spannungsbereiches meist so gering, daß der etwa entstehende Fehler vernachlässigt werden kann. Überdies ist man in der Lage, durch Einhaltung einer Vorsichtsmaßregel diesen Fehlereinfluß weitgehend auszuschalten.

Es hat sich bei den durchgeführten Versuchen gezeigt, daß die Quellung der Bodenprobe, die an sich durch die umschließende Ringwand eingeschränkt ist, durch die Vermeidung einer vollständigen Aufhebung des Kapillardruckes weitgehend herabgesetzt werden kann. Es ist also schon aus diesem Grunde angezeigt, die Sättigung der Probe mit Wasser in der Weise vorzunehmen, daß der Büretten-Wasserspiegel nicht auf die Oberfläche, sondern auf die Unterseite der Bodenprobe, also auf die Höhe der Filterplatte eingestellt wird. Dadurch ergibt sich an der Bodenunterseite der Unterdruck Null, an der Oberseite jedoch ein solcher von 4 cm Wassersäule. Die volle Füllung ist damit allerdings auf jene Hohlräume beschränkt, deren Lichtweite an den engsten Stellen einer Ersatz-Porengröße von 0,75 mm entspricht. Poren dieser Größe könnte man jedoch in Anbetracht der Kleinheit der Probemenge schon als Zufallserscheinungen auffassen, deren Ausschaltung aus Gründen der Vergleichbarkeit verschiedener Proben erwünscht sein mag. Der Fehler in der Bestimmung der Sättigungs-Wassermenge fällt praktisch meist gar nicht ins Gewicht. Dies läßt der Verlauf der S-W-Linien der Abb. 3a innerhalb des in Betracht kommenden Bereiches deutlich erkennen. Man ist aber auch im Falle der Untersuchung von Bodenproben abweichenden Verhaltens durchaus in der Lage, die volle Sättigung zu erzielen, und zwar in der Weise, daß man am Schluß des Versuches die in der angegebenen Art neuerlich gesättigte Probe von der Filterplatte abhebt, umkehrt und mit der ebenen Seite an eine Glasplatte drückt, worauf durch Zutropfen von Wasser die volle Füllung auch der größten Bodenporen erreicht wird.

Soweit sich durch diese Maßnahmen die Raumänderungen des Bodens nicht in so engen Grenzen halten lassen, daß ihre Vernachlässigung noch zulässig erscheint, müßten die Untersuchungen im Kapillarmeter durch eine Bestimmung des Größenbetrages dieser Volumänderungen ergänzt werden. Dies wäre auch für die Beurteilung des Lufthaushaltes des untersuchten Bodens in solchen Fällen von Bedeutung. Während in einer raumbeständigen Probe der Rauminhalt des abgegebenen Wassers dem Volumenzuwachs jener Bodenluft, die mit der Außenluft in freier Verbindung steht, unmittelbar gleichgesetzt werden kann, wäre im Falle stärkerer Schwindung während des Versuches dieser Wert um den Betrag der Raumänderung der ganzen Probe zu vermindern.

Eine weitere Unsicherheit des Verfahrens könnte man in dem Umstand vermuten, daß jene in der Bodenprobe vorhandenen Hohlräume größerer Abmessungen, die allseits von feinkapillaren Poren umgeben sind, sich erst dann entleeren können, wenn auch die sie umgebenden engen Poren entwässert sind. Dadurch würde also der Anteil der größeren Porenlichtweiten in einem verminderten, der

Anteil der feinen aber in einem verstärkten Ausmaß in Rechnung gestellt werden. Wenn wir jedoch berücksichtigen, daß solche eingebettete grobkapillare Räume für die Wasser- und Luftführung eines Bodens im wesentlichen keine andere Rolle spielen als die sie umgebenden feinkapillaren Poren, da für die Vollkommenheit des Wasser- und Luftaushaltes allein die *durchgehenden* groben Porenzüge von Bedeutung sind, dann schaltet dieser Umstand, vom praktischen Standpunkt aus gesehen, als Fehlerquelle vollständig aus.

Schließlich soll in diesem Zusammenhang auch auf die Erscheinung der *Luftabschnürung* kurz hingewiesen werden. W. Schmidt und P. Lehmann<sup>1)</sup> haben anläßlich ihrer Versuche zur *Bodenatmung* darauf hingewiesen, daß es bei jeder Steigerung des Bodenwassergehaltes dadurch, daß das Wasser in den verschiedenen weiten Poren mit verschiedener Geschwindigkeit sich vorwärtsbewegt, zur Abschnürung von Luftmengen kommt, die, weil sie allseits von Wasser umgeben sind, mit der Außenluft nicht in Verbindung stehen und daher am Gasaustausch nicht beteiligt sind. Diese Luftabschnürungen können ein recht beträchtliches Ausmaß erreichen und bei hohen Sättigungsgraden nach meinen anläßlich der vorstehend beschriebenen Versuche gemachten Beobachtungen leicht 5, ja sogar 10% des Porenraumes erreichen.

Wenn wir nun den bei jeder Saugspannung gemessenen Wassergehalt auf den gesamten Porenraum der Bodenprobe beziehen, dann umfaßt der als Unterschied zwischen dem Porenraum und dem jeweilig festgestellten Wassergehalt berechenbare (nach den früheren Ausführungen allenfalls auch noch um das Schwindungsmaß zu vermindernde) Luftraum sowohl die freie als auch die abgeschnürte Bodenluft. Da eine Trennung dieser Anteile nicht möglich, für die Durchlüftung des Bodens aber nur der eine Teil von Bedeutung ist, würde die Berücksichtigung der gesamten Luftmenge zu günstige Verhältnisse vortäuschen, was besonders im Bereiche hohen Wassergehaltes zu einer ganz falschen Beurteilung des Luftaushaltes führen müßte. Es ist daher vorzuziehen, die ermittelten Wassergehalte des Bodens auf den in der früher beschriebenen Weise bestimmten Höchstgehalt als Einheit zu beziehen. Dadurch wird erreicht, daß der als Unterschied zwischen diesem Sättigungsgehalt und dem jeweils gemessenen Wassergehalt berechenbare Luftraum nur den für die Bodenatmung bedeutungsvollen Luftanteil umfaßt.

Bei der Kenntnis des Bodenvolumens und des Porenraumes einer Ringprobe lassen sich die gefundenen Verhältniszahlen ohne weiteres auch auf diese Größen beziehen, wodurch der Übergang auf die Zustände in der Natur ermöglicht ist.

Es ist nützlich, im Anschluß an diese Ausführungen, die von J. Kopecký<sup>2)</sup> eingeführten Begriffe der *«absoluten Wasserkapazität»* und der *«Luftkapazität»* einer kurzen Betrachtung zu unterziehen.

Der Genannte bestimmt die erste Größe in der Weise, daß er die in einem Entnahmering von 50,5 mm Lichtweite und 35,4 mm Höhe

<sup>1)</sup> Sitzungsberichte d. Akad. d. Wissensch. IIa (138) Wien 1929, S. 836.

<sup>2)</sup> Die physikal. Eigenschaften d. Bodens, Prag 1904.

enthaltene Probe des natürlich gelagerten Bodens nach voller Sättigung mit Wasser, unter Zwischenschaltung eines Drahtsiebes, an ihrer Unterseite mit lufttrockenem Boden ähnlicher Herkunft so lange in Berührung hält, bis keine dem Auge merkbare Abgabe von Wasser an den trockenen Boden mehr stattfindet. Die schließlich in der Probe enthaltene, auf den Rauminhalt oder auf das Trockengewicht bezogene Wassermenge liefert dann den gesuchten Wert, der nach *Kopeckýs* Ansicht eine absolute Größe des Bodens darstellt, nämlich «jene Wassermenge, die der Boden eine längere Zeit hindurch in sich zurückzuhalten vermag».

*Kopecký* hat dabei übersehen, daß durch das Aneinanderfügen des gesättigten Bodens an den trockenen die ihrem Größenbetrage nach unbekannte Saugkraft des letzteren den Wasserentzug bewirkt, und zwar in einem Grade, der sowohl durch den augenblicklichen, nicht erfaßbaren, weil veränderlichen Feuchtigkeitsunterschied der beiden Böden als auch von der Wirkungsdauer abhängig ist. Wenn daher die so ermittelte «absolute Wasserkapazität» als ein Zufallswert, der einen nicht genau zu umschreibenden Augenblickszustand kennzeichnet, kaum für rohe Vergleiche einen Anhaltspunkt zu geben vermag, so gilt dies in noch verstärktem Maße für die «Luftkapazität».

Diese Größe ist nach *Kopecký* der auf den Bodenraum bezogene Unterschied zwischen Porenraum und absoluter Wasserkapazität und soll für den Grad der Durchlüftung eines Bodens kennzeichnend sein. In Wirklichkeit vermag sie diese Aufgabe jedoch nicht einmal für den Zustand des Bodens unter den zufälligen Versuchsbedingungen zu erfüllen, da sie keinen Unterschied zwischen frei beweglicher und abgeschnürter Bodenluft macht.

Wenn wir nun wieder auf den eigentlichen Gegenstand übergehen, so möge noch in Kürze die Frage der Anwendbarkeit der bisherigen Ergebnisse behandelt werden, wie sie sich, insbesondere vom kulturtechnischen Standpunkt aus gesehen, darstellt. Wir greifen dabei nochmals auf die Abb. 3 zurück.

Die Gegenüberstellung der 5 kennzeichnenden S-W-Linien bzw. der Porenverteilungsbilder versetzt uns in die Lage, einige Schlüsse hinsichtlich der Wirkungen solcher Maßnahmen zu ziehen, die wir zum Zwecke der künstlichen Beeinflussung des Wasserhaushaltes eines Bodens durchführen, und liefert uns weiter eine Möglichkeit, eine neue Art der Einteilung von Böden vom kulturtechnischen Gesichtspunkte aus anzudeuten, die gegenüber der bisherigen, vornehmlich auf die Körnung des Bodens Bezug nehmenden, eine Vervollkommnung darstellen würde. Dabei kann es sich vorderhand naturgemäß nur um eine noch sehr allgemein gehaltene Aufstellung weniger besonders kennzeichnender Musterformen handeln, da wir beim heutigen Stande unseres Wissens nur in der Lage sind, auf die Statik des Bodenwassers Bezug zu nehmen. Nichtsdestoweniger wollen wir versuchen, einige Hinweise in dieser Richtung zu bringen.

Böden, die der S-W-Linie 1 nahekommen, leichte Sandböden, weisen eine ausreichende Wasserhaltung bei gleichzeitiger guter Luftführung nur innerhalb eines sehr kleinen Spannungsbereiches auf. Sie müssen deshalb gegen jede Spannungsänderung, wie sie durch

eine Änderung der Höhenlage des Grundwasserspiegels eintritt, außerordentlich empfindlich sein. Die verderblichen Wirkungen von Grundwasserabsenkungen, die in solchen Böden und unter einigermaßen ungünstigen klimatischen Bedingungen in Erscheinung zu treten pflegen, wenn auf diese Umstände nicht genügend Bedacht genommen wird, sind ein sinnfälliger Ausdruck hierfür und begründen die Notwendigkeit allergrößter Vorsicht bei der Entwässerung derartiger Böden, für deren Pflanzenbestand auch schon kurze Trockenzeiten verhängnisvoll werden können.

Das Gegenstück hierzu bilden die Bodenarten, die durch die Linie 2 gekennzeichnet werden, Moorböden und schwere Lehm- und Tonböden, in denen das Wasser außerordentlich stark festgehalten wird und überdies schwer beweglich ist. Der Verlauf der S-W-Linie zeigt, daß wir durch die künstliche Entwässerung, bei der wir bestenfalls eine Saugspannungserhöhung bis auf 150 cm Wassersäule in der Oberflächenschicht erreichen, derartigen Böden auch durch eine sehr intensive Entwässerung nur geringfügige Wassermengen entziehen und dementsprechend eine Durchlüftung nur in recht unzulänglichem Ausmaß erreichen können.

In diesem Falle ist der Erfolg fast ganz abhängig von einer Änderung des Bodengefüges im Haupt-Wurzelbereich, die in ausreichendem Maße nur durch die Frostwirkung, durch die Mittel der Bodenbearbeitung und durch chemische Bodenverbesserung herbeigeführt werden kann, wobei den Entwässerungseinrichtungen die Aufgabe zufällt, den dauernden Bestand eines solchen neu geschaffenen günstigen Bodenzustandes zu sichern.

Die Bodenarten, die durch die S-W-Linien 3 und 4 dargestellt sind, können, wie bereits früher erwähnt worden ist, als Übergangsformen zwischen den beiden Mustern 1 und 2 aufgefaßt werden. Sie sind weder so empfindlich noch so unempfindlich gegen eine künstliche Grundwasserspiegel-Senkung, sie zeigen also kein derart einseitiges Verhalten; sie sind jedoch noch bis zu einem gewissen Grade mit den beiderseitigen Nachteilen behaftet. Einerseits fehlt es ihnen an der leichten Beweglichkeit des Wassers, da sie, im Vergleich zu den Sandböden, wenig grobe Poren besitzen, anderseits mangelt ihnen in Bereiche höherer Spannungswerte eine ausreichende Wasserhaltung. Je mehr sie sich dem Fall 2 nähern, desto dringlicher wird die Frage der Gefügeverbesserung gegenüber jener der bloßen Wasserabfuhr in den Vordergrund treten.

Erst das Bodenmuster 5 stellt jenen Zustand dar, der die Vorteile der gegensätzlichen Formen 1 und 2 vereinigt, ohne mit deren Nachteilen behaftet zu sein. Fast über den ganzen Spannungsbereich sich erstreckend, also bei stark veränderlichen Grundwasserständen, tritt hier ständig eine günstige Wasserhaltung mit leichter Wasserbeweglichkeit und guter Durchlüftung gepaart in Erscheinung.

Das eindringende Niederschlagswasser wird einesteils in den Krümeln in sehr fester Bindung zurückgehalten und zur Wiederauffüllung des Speichers verwendet, aus dem die Pflanzenwurzeln, vermöge der ihnen zur Verfügung stehenden Saugkräfte, ihren Bedarf decken können. Der Rest ist in den groben Porenzügen zwischen den Krümeln leicht beweglich und kann bei nicht zu ungünstiger Untergrundbeschaf-



fenheit in tiefere Bodenschichten versickern und dadurch die Entstehung von für den Gasaustausch wichtigen Luftadern ermöglichen, darüber hinaus jedoch auch die für die Überwindung von Trockenzeiten sehr nützliche Anfeuchtung tieferer Lagen bewirken.

Der durch die Linie 5 angedeutete Bodenzustand ist es also, auf dessen Schaffung und Erhaltung unser Streben gerichtet sein muß.

Es leuchtet ohne weiteres ein, daß der Anteil der grobkapillaren Hohlräume gegenüber dem der feinkapillaren je nach den besonderen Bedürfnissen der Pflanzen, nach den klimatischen Verhältnissen, sowie nach der Beschaffenheit der tieferen Untergrundschichten Verschiebungen erfahren muß, wenn es zu einem den örtlichen Gegebenheiten entsprechenden günstigsten Bodenzustand kommen soll.

So hat eine Verbesserung des Wasserhaushaltes des Bodens in feuchten Lagen nicht allein eine durch Dränung zu bewirkende Steigerung der Versickerungsmöglichkeit in den Untergrund, sondern auch eine Vergrößerung des Anteiles der groben Porenzüge im Haupt-Wurzelbereich der Pflanzen zur Voraussetzung. Als Beispiel sei auf die auf Moorböden geübte Sanddeck-Kultur hingewiesen.

Im gegenteiligen Falle, also in Gebieten mit geringen Niederschlägen und stark durchlässigem Untergrund, sollte eine Verbesserung der Wasserverhältnisse nicht allein durch künstliche Bewässerung, sondern, wesentlich unterstützend, auch durch eine Herabsetzung des Anteiles der grobkapillaren Hohlräume der Krumenschichte (z. B. auf dem Wege der Humusanreicherung) angestrebt werden.

Aus dieser Betrachtung ergibt sich zwingend die Notwendigkeit, nicht Untergrund *oder* Krume, sondern beide in gleicher Weise in den Kreis der Betrachtungen einzubeziehen. Erst die genaue Kenntnis des ganzen Bodenprofils hinsichtlich seiner natürlichen Gefügebearbeitung wird uns einen ausreichend gesicherten Schluß auf die Art und Weise des Wasserhaushaltes eines Bodens sowie auf die günstigsten Wege zu seiner Beeinflussung im erwünschten Sinne ziehen lassen. Einen Anhaltspunkt hierfür könnte die Aufstellung von Mustern ergeben, die unter den besonderen örtlichen Bedingungen den Anforderungen in vollkommenster Weise gerecht werden.

Wir müssen uns im gegenwärtigen Zeitpunkt auf diese allgemein gehaltenen Andeutungen beschränken, da die notwendigen Beobachtungen noch nicht im wünschenswerten Umfange vorliegen. Es besteht jedoch die begründete Aussicht, auf dem vorgeschlagenen Wege nicht allein wesentliche Fragen der *Bodenbearbeitung* und der *Düngung* (Beeinflussung des Bodengefüges durch den Basenaustausch) einer Lösung näherzubringen, sondern es erscheint gerade vom kulturtechnischen Standpunkt aus wichtig, daß damit die Möglichkeit geboten ist, dem noch offenen Fragenkreis der *Gefügeänderungen des entwässerten Bodens* endlich in einer erfolgsversprechenden Weise nähertreten zu können.

## 11. Die Gefügeänderungen des Bodens.

Nach den bisherigen Ausführungen, die sich auf den Gefügestand im allgemeinen bezogen, soll noch kurz auf die Gefügeänderungen und deren Bestimmung eingegangen werden.

Die Aufgabe besteht darin, an einem bestimmten Boden alle jene Änderungen der Größe und Gestaltung des Porenraumes zu verfolgen und zahlenmäßig festzuhalten, die sich unter der Einwirkung bestimmter äußerer Wirkungen ergeben. Der dabei einzuschlagende Weg und die Leistungsfähigkeit des Verfahrens sollen an zwei Beispielen kurz erläutert werden, von denen das erste eine Gefügeverbesserung, das zweite eine Strukturzerstörung behandelt.

Im Herbst 1936 wurden zwei Ringproben aus der Oberfläche einer Erdscholle frisch umgebrochenen Wiesenlandes entnommen und im Kapillarmeter in der angegebenen Weise untersucht. Das Mittel aus den beiden voneinander nur ganz unbedeutend abweichenden Beobachtungen ist in der S-W-Linie 1 und in der Porenverteilungslinie 1 der Abb. 4 dargestellt.

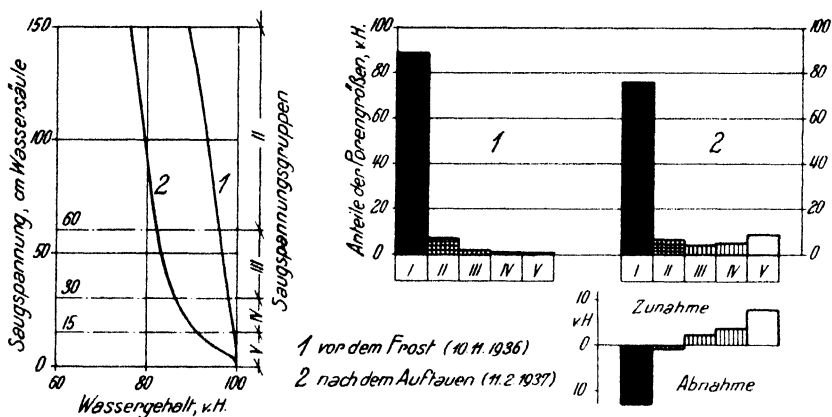


Abb. 4

Der Boden ist ein toniger Lehm und weist die folgende Kornzusammensetzung auf:

Korngröße . . .	<0,002	0,002—0,02	0,02—0,05	0,05—2,00 mm
Anteil am Gesamtgewicht	20,9	35,3	18,3	

Der Porenraum war im naturfrischen Zustande 48,6%. Das im Zustande der Sättigung im Boden vorhandene Wasser entfiel fast ausschließlich auf die kleinste Porengröße, nämlich zu 89% auf Poren der Gruppe I (Lichtweite <0,02 mm); die Anteile der größeren Hohlräume waren verschwindend gering.

Um nun die Wirkung des Frostes auf das Bodengefüge zahlenmäßig zu erfassen, wurde nach eingetretenem Tauwetter am 11. Februar 1937 an Ort und Stelle neuerlich eine Doppelprobe aus der Oberfläche der gleichen Erdscholle entnommen und derselben Untersuchung unterzogen.

Dabei ergab sich, bei abermaliger fast völliger Übereinstimmung der beiden Beobachtungsreihen, die S-W-Linie 2 und die entsprechende Porenverteilungslinie. Der Porenraum betrug 51,4%.

Weniger bedeutend waren die Änderungen im Bereich der übrigen Größenklassen. Die Gruppe II hat sich um 0,8% vermindert; die Poren der Gruppen III und IV haben gleichzeitig eine Zunahme von 2,0 auf 4,2 bzw. von 1,2 auf 5,0% erfahren.

Die auf diesem Wege feststellbare Gefügeänderung des vorliegenden Bodens war also recht beträchtlich. Die Beobachtungen werden fortgesetzt, um ein Bild über die zeitlichen Änderungen der Bodenstruktur während längerer Zeiträume zu erlangen.



Der ersten Aufnahme der S-W-Linie 1 der Abb. 5 folgte eine neuerliche Sättigung der Probe und eine Überstauung mit destilliertem Wasser, die 14 Tage hindurch unverändert aufrechterhalten blieb. Nach Ablauf dieser Zeit haben die in der gleichen Weise durchgeführten Messungen die Linie 2 ergeben. Die nicht sehr bedeutende, aber immerhin gut erkennbare Verminderung der grobkapillaren und die entsprechende Vermehrung der feinkapillaren Hohlräume zeigt eine Verdichtung des Bodens infolge beginnender Zerteilung von Krümeln an.

438

17,5 auf 6% zurückgegangen ist. Auch die übrigen Größenklassen haben durchweg eine Anteilsverminderung erfahren, und zwar von II gegen IV der Reihe nach um 1,0, 0,7 und 2,8%.

Dieses Beispiel zeigt die Möglichkeit, auf dem angegebenen Wege die Beständigkeit der Krümelung gegenüber dem Einfluß des Wassers oder verschiedener Düngemittel in einfachster Weise zu untersuchen und zahlenmäßig festzuhalten.

## 57. Die Beteiligung der Bakterien an der Zerstörung der Zementrohre

Mitteilung aus dem landwirtschaftlich-bakteriologischen Institut der E.T.H. Zürich

Von

Prof. Dr. M. Duggeli, Zürich, Schweiz.

Das Bestreben, eine allfällige Mitwirkung von Mikroorganismen bei der Zerstörung von Zementrohren in Meliorationsböden zu studieren, veranlaßte den Verfasser, bakteriologische Untersuchungen an 15 angegriffenen, in verschiedenen Zerstörungsstadien befindlichen Zementrohren, 6 intakten Zementrohren, 22 Proben zugehöriger Meliorationsböden, sowie 2 Schlammproben aus angegriffenen Rohren durchzuführen. Diese Materialien wurden seinerzeit von der Kommission zur Prüfung des Verhaltens von Zementrohren in Meliorationsböden zur Verfügung gestellt. Über die Ergebnisse dieser Prüfungen orientiert eine Arbeit, die 1929 in der Schweizerischen Zeitschrift für Straßenwesen unter dem Titel «Bakteriologische Untersuchungen an angegriffenen Zementrohren» erschienen ist. Seither benutzte ich weitere sich bietende Gelegenheiten, um, soweit die zur Verfügung stehende Zeit dies gestattete, tiefer in die einschlägigen Probleme einzudringen und auch zu versuchen, die Frage auf experimentellem Wege zu studieren. Zu dem Zwecke brachte ich, wie später näher ausgeführt wird, Zementrohr-Material unter Bedingungen, welche das Auftreten starker Buttersäure- und Milchsäure-Gärungsvorgänge begünstigten, um an den sich bemerkbar machenden Gewichtsverlusten und dem Auftreten von Korrosionsfiguren die Angreifbarkeit von Zementrohren durch bestimmte Arten von Mikroorganismen wahrscheinlich zu machen oder gar zu beweisen. In diesem Falle wurde die *Elektiv-* oder *Auslese-Kultur*, die sich bei bakteriologischen Arbeiten als außerordentlich fruchtbar erwiesen hat, in den Dienst der Forschung gestellt. Vorerst sei kurz über die Ergebnisse der bakteriologischen Untersuchung von 7 stark und 5 schwach angegriffenen Zementrohren verschiedener Herkunft, sowie von 8 Meliorationsböden berichtet, die dem Rohrmaterial direkt aufgelagert waren.

Aus Gründen, die in der oben erwähnten Arbeit angegeben worden sind, wurde die *Kulturmethode* mit Erfolg in den Dienst der bakteriologischen Prüfung der Rohre und der Böden gestellt. Durch das Anlegen quantitativ gehaltener *Gußkulturen von Nährgelatine* bei 20° und von *Zuckeragar* bei 30°, sowie von *Zuckeragar hoher Schichtkultur* bei 37° ließ sich ein vergleichender Einblick in die mittels dieser Kulturverfahren nachweisbaren Bakterienarten gewinnen. In

den nachstehenden Tabellen 1 und 2 sind die bei den Zementrohren und in den Meliorationsböden erzielten Resultate zusammengestellt. Die angeführten Keimzahlen sind, um den Vergleich zwischen den Proben zu erleichtern, auf das Gramm trockenen Materials umgerechnet.

*Die bei der Untersuchung der Zementrohre erzielten Ergebnisse.*

Tabelle 1

Untersuchungs-Material	Menge der gelatine- wüchsigen Keime	Zahl der auf Agar gedeihenden Spaltpilze	Menge der mittels Zuckeragar hoher Schichtkultur nachweisbaren Bakterien
Sehr stark angegriffen	4 260 000	2 940 000	425 000
desgl.	4 730 000	3 160 000	512 000
Stark angegriffen . .	3 380 000	2 735 000	411 000
desgl. . . . .	2 430 000	1 972 000	316 000
desgl. . . . .	2 785 000	2 340 000	289 000
desgl. . . . .	1 980 000	1 425 000	114 000
desgl. . . . .	2 865 000	2 475 000	297 000
Mittel	3 204 000	2 435 000	338 000
Schwach angegriffen .	81 000	69 000	27 000
desgl. . . . .	114 000	87 000	39 000
desgl. . . . .	72 000	47 000	31 000
desgl. . . . .	131 000	92 000	44 000
desgl. . . . .	52 000	37 000	19 000
Mittel	90 000	66 400	32 000

*Die bei der Untersuchung der den Zementrohren unmittelbar aufliegenden Meliorationsböden erhaltenen Ergebnisse.*

Tabelle 2

Untersuchtes Material	Menge der gelatine- wüchsigen Keime	Zahl der auf Agar gedeihenden Spaltpilze	Menge der mittels Zuckeragar hoher Schichtkultur nachweisbaren Bakterien
Boden 1 . . . . .	1 850 000	1 212 000	73 500
» 2 . . . . .	2 345 000	1 643 000	84 600
» 3 . . . . .	2 870 000	1 948 000	111 700
» 4 . . . . .	3 417 000	2 211 000	196 300
» 5 . . . . .	2 592 000	1 743 000	87 200
» 6 . . . . .	2 764 000	1 981 000	114 200
» 7 . . . . .	1 972 000	1 287 000	74 600
» 8 . . . . .	1 847 000	1 124 000	85 900
Mittel	2 457 000	1 644 000	103 500

Aus den in der Tabelle 1 niedergelegten Untersuchungsergebnissen geht in Übereinstimmung mit den frühern Befunden hervor, daß im Zementrohrmaterial mittels der *Gußkulturen von Nährgelatine und Zuckeragar* sowie durch *Zuckeragar hoher Schichtkultur* um so reichlicher Spaltpilze sich feststellen lassen, je stärker die Rohre angegriffen sind. Dieser bemerkenswerte Befund ist zwar kein Beweis dafür, daß die an den Zementrohren sitzenden oder in sie eingedrungenen Bakterien die Ursache der Zerstörung der Rohre sind; aber folgende Überlegung läßt uns am erwähnten Befund nicht achtlos vorübergehen. Manche der nachgewiesenen Bakterienarten scheiden als Stoffwechselprodukte Verbindungen aus, welche Beton anzugreifen vermögen, so Kohlendioxyd, Milch-, Butter-, Essig-, Propionsäure u. a. Je größer die Zahl der Vertreter solcher Bakterienarten ist und je intensiver sie tätig sein können, desto stärkere Angriffe auf die Rohre sind durch sie möglich. Aber auch in den den Zementrohren unmittelbar aufliegenden Meliorationsböden sind sehr bedeutende Spaltpilzmengen feststellbar, so daß eine Infektion der Rohre von seiten des Bodens immer dann wirkungsvoll erfolgen kann, wenn die Spaltpilze auf den Zementrohren annehmbare Lebensbedingungen vorfinden.

Mit dem Nachweis der auf den Gußkulturen von Nährgelatine und von Zuckeragar sowie in Zuckeragar hoher Schichtkultur gedeihenden Bakterien gaben wir uns nicht zufrieden. Es wurde versucht, mit Hilfe der *Elektivkultur* das Vorkommen von *Bacillus amylobacter* Bred. und anderer zu den *Buttersäurebazillen* gehörender Mikroorganismen sowie von *Milchsäurebakterien* und von *nitrifizierenden Spaltpilzen* zahlenmäßig zu erfassen. Die zur Anwendung gelangende *Methodik* des Nachweises ist in der oben zitierten Publikation beschrieben. Durch sein Vermögen, den Luftstickstoff festlegen und zum Aufbau seines Körpers benutzen zu können, kommt dem *Bac. amylobacter* Bred. für die Besiedelung der Zementrohre und der Meliorationsböden besondere Bedeutung zu, indem nach seinem Tode und der eintretenden Zersetzung der Zellen der Stickstoff in gebundener Form andern Lebewesen zugute kommt. Außer *Bacillus amylobacter* Bred., *Granulobacillus saccharobulyricus mobilis* Schatt. u. Grass., *Streptococcus lactis* Lister und *langstäbchenförmiger Milchsäurebildner* waren auch die *nitrifizierenden Spaltpilze* in den Zementrohren und den Meliorationsböden in bedeutender Menge nachweisbar.

Um das Problem der Mitwirkung der Bakterien beim Zerfall der Zementrohre in Meliorationsböden von der *experimentellen Seite* anpacken zu können, wurden die nachstehend unter a–f skizzierten Versuche durchgeführt.

a) 15 Bruchstücke zertrümmerten Zementrohrmaterials verschiedener Herkunft von ungefähr je 10 g Gewicht wurden 3 Std. bei 105° bis zur Gewichtskonstanz getrocknet und sterilisiert, dann in  $\frac{1}{2}$ -l-Erlenmeyer-Kolben gegeben, bis zur  $\frac{1}{2}$ -l-Marke mit Nährlösung für *Bac. amylobacter* Bred. versehen, mit 1 g Material, das von einem stark angegriffenen Zementrohr aus Meliorationsboden stammte, geimpft und bei 37° bebrütet. Die Gewichtsverluste, in Prozenten des Trockengewichtes angegeben, betragen:

Tabelle 3

Nr. des Zementrohrs	Nach 12 Tagen	Nach 36 Tagen	Nach 70 Tagen	Nach 180 Tagen
1	1,22	2,98	4,76	8,59
2	1,65	3,21	5,32	9,22
3	1,08	2,31	4,22	7,98
4	1,45	3,11	4,99	8,87
5	0,87	1,92	3,88	7,52
Mittel	1,25	2,71	4,63	8,41

Die in Gärung geratene Nährlösung zeigte das Bild von Butter-säuregärung, doch war der sich entwickelnde, weit vorherrschend vorkommende *Bac. amylobacter* Bred. begleitet von beweglichen plumpen Kurz- und schlanken Langstäbchen.

b) Das nämliche Vorgehen wie bei a wurde befolgt, aber nach erfolgtem Erhitzen wurde das Impfen mit einer Reinkultur von *Bac. amylobacter*, die von einem stark angegriffenen Zementrohr aus Meliorationsboden isoliert worden war, vorgenommen. Die Gewichtsverluste, in Prozenten des Trockengewichtes, betrugen:

Tabelle 4

Nr. des Zementrohrs	Nach 14 Tagen	Nach 40 Tagen	Nach 75 Tagen	Nach 180 Tagen
1	1,03	2,68	3,41	6,85
2	1,30	2,97	4,83	7,69
3	0,83	1,57	3,12	6,24
4	1,19	2,72	3,95	7,22
5	0,62	1,67	2,94	5,87
Mittel	0,99	2,32	3,65	6,77

Wurden die Bruchstücke der Zementrohre 1—5 in die Nähr-für *Bac. amylobacter* Bred. gegeben, dort mit 5<sup>0</sup>/<sub>100</sub> Kochsalz und 1<sup>0</sup>/<sub>100</sub> Sublimat versetzt, so blieb die Kultur trotz Impfens mit Material, das von einem stark angegriffenen Zementrohr aus Meliorationsboden stammte, steril. Die nach 180 Tage umfassendem Aufbewahren bei 37° an den Bruchstücken festgestellten Gewichtsverluste betrugen bei den Zementrohren 1—5 in Prozenten des Trockengewichtes: 0,13%, 0,17%, 0,19%, 0,16% und 0,15%, im Mittel 0,16%.

c) 15 Bruchstücke zertrümmerten Zementrohrmaterials verschiedener Herkunft von je ungefähr 10 g Gewicht wurden 3 Std. bei 105° bis zur Gewichtskonstanz getrocknet und sterilisiert, dann in  $\frac{1}{2}$ -l-Erlenmeyer-Kolben gegeben, bis zur  $\frac{1}{2}$ -l-Marke mit Molke, die einen Zusatz von 1<sup>0</sup>/<sub>100</sub> Pepton Witte erhalten hatte, versehen, mit 1 g Material, das von einem stark angegriffenen Zementrohr aus Meliorationsboden stammte, geimpft und bei 30° bebrütet. Die Gewichtsverluste, in Prozenten des Trockengewichtes angegeben, betrugen:



Tabelle 5

Nr. des Zementrohrs	Nach 12 Tagen	Nach 36 Tagen	Nach 70 Tagen	Nach 180 Tagen
1	1,85	3,83	5,98	10,23
2	1,92	4,05	6,37	10,85
3	1,55	3,24	5,43	9,32
4	1,71	3,85	5,88	9,93
5	1,03	2,25	4,83	8,62
Mittel	1,61	3,44	5,70	9,79

Die eingetretene Milchsäuregärung war von schwacher Gasbildung begleitet. Im mikroskopischen Bild herrschte ein *Streptokokkus* weit vor, während ein langsam bewegliches *Kurzstäbchen* in bescheidener Zahl vorkam.

d) Die nämliche Arbeitsmethode wie bei c wurde befolgt, aber nach erfolgtem Erhitzen impfte ich mit einer Reinkultur von *Streptococcus lactis* Lister, die aus einem stark angegriffenen Zementrohr aus Meliorationsboden isoliert worden war. Die Gewichtsverluste in Prozenten des Trockengewichtes betrugen:

Tabelle 6

Nr. des Zementrohrs	Nach 14 Tagen	Nach 40 Tagen	Nach 75 Tagen	Nach 180 Tagen
1	0,92	1,98	3,11	5,72
2	1,14	2,52	3,76	6,41
3	0,72	1,31	2,58	5,11
4	0,99	2,14	3,47	6,08
5	0,41	1,12	2,02	4,36
Mittel	0,84	1,81	2,99	5,54

e) Entsprechendes Vorgehen wie bei c, aber nach erfolgtem Erhitzen geschah die Impfung mit einer Reinkultur von *Bacterium acidi lactici* Hüppe, die aus einem stark angegriffenen Zementrohr aus Meliorationsboden isoliert worden war. Die Gewichtsverluste in Prozenten des Trockengewichtes betrugen:

Tabelle 7

Nr. des Zementrohrs	Nach 14 Tagen	Nach 40 Tagen	Nach 75 Tagen	Nach 180 Tagen
1	0,61	1,11	2,02	3,87
2	0,72	1,32	2,24	3,99
3	0,45	0,98	1,71	3,04
4	0,65	1,22	2,24	3,91
5	0,32	0,84	1,60	2,89
Mittel	0,57	1,10	1,96	3,54

f) Es wurde die gleiche Arbeitsweise wie bei c innegehalten, aber nach erfolgtem Erhitzen geimpft mit einer Reinkultur des *Thermobacterium helveticum* Jensen, die aus einem stark angegriffenen Zementrohr aus Meliorationsboden stammte. Die Kolben wurden, um der Bakterienart gute Wärmeverhältnisse bieten zu können, zu 40° gestellt. Die Gewichtsverluste in Prozenten des Trockengewichtes betrugen:

Tabelle 8

Nr. des Zementrohrs	Nach 14 Tagen	Nach 40 Tagen	Nach 75 Tagen	Nach 180 Tagen
1	1,63	3,52	5,61	9,78
2	1,84	3,92	6,01	10,33
3	1,40	3,02	5,01	8,76
4	1,58	3,32	5,42	9,41
5	1,27	2,04	4,25	8,36
Mittel	1,54	3,16	5,26	9,33

Wurden die Bruchstücke der Zementrohre 1—5 in die Molke gegeben, dort mit 5%<sub>00</sub> Kochsalz und 1%<sub>00</sub> Sublimat versetzt, so blieb die Kultur trotz Impfens mit Material, das von einem stark angegriffenen Zementrohr aus Meliorationsboden stammte, steril. Die nach 180 Tage umfassendem Aufbewahren bei 30° an den Bruchstücken festgestellten Gewichtsverluste betrugen bei den Zementrohren 1—5 in Prozenten des Trockengewichtes: 0,82%, 0,76%, 0,85%, 0,87% und 0,80%, im Mittel 0,82%.

Der durch die Buttersäuregärung an den Zementrohrstücken hervorgerufene Gewichtsverlust betrug im Mittel in Prozenten des Trockengewichtes: nach 12—14 Tagen 1,12%, nach 36—40 Tagen 2,51%, nach 70—75 Tagen 4,14% und nach 180 Tagen 7,61%. Der bescheidenste Gewichtsverlust war bei dem Zementrohr Nr. 5, durch *Bacillus amylobacter* Bred. nach 12—14 Tagen bedingt mit 0,62%, während die größte Gewichtseinbuße bei dem Zementrohr Nr. 2 durch die unreine Buttersäuregärung nach 180 Tagen mit 9,22% hervorgerufen wurde.

Wesentlich größer waren die bei gleicher Einwirkungszeit durch die Milchsäuregärung an den Bruchstücken der Zementrohre bedingten Gewichtsverluste; sie betrugen im Mittel in Prozenten des Trockengewichtes: nach 12—14 Tagen 2,27%, nach 36—40 Tagen 4,76%, nach 70—75 Tagen 7,95% und nach 180 Tagen 14,10%. Der bescheidenste Gewichtsverlust war bei dem Zementrohr Nr. 5 durch *Bacterium acidi lactici* Hüppe nach 12—14 Tagen mit 0,32% nachgewiesen, während die höchste Gewichtseinbuße bei dem Zementrohr Nr. 2 durch die unreine Milchsäuregärung nach 180 Tagen mit 10,85% feststellbar war.

Es schien mir interessant, durch Versuche gewonnene zahlenmäßige Anhaltspunkte darüber zu erhalten, ob durch die Einwirkung von Buttersäurebazillen und von Milchsäurebakterien nicht nur eine

Gewichtsabnahme der Zementrohr-Bruchstücke zu konstatieren sei, sondern ihre *Widerstandsfähigkeit gegen mechanische Bearbeitung* heruntergesetzt werde. Beim Vergleich der frischen Bruchstücke der Zementrohre mit dem angegriffenen Material mußte auffallen, daß die der Gärung ausgesetzten Fragmente eine rauhe, korrodierte Oberfläche erhalten hatten. Zur Lösung dieser Frage wurden je 15 Stück ungefähr 10 g wiegende Bruchstücke der Zementrohre teils in frischem Zustand, teils nach 12—14 und 70—75 Tage umfassender Einwirkungszeit von *Buttersäure-* bzw. *Milchsäurebakterien* während zwei Stunden bei 105° getrocknet und ihr Gewicht festgestellt. In Konservengläsern von  $\frac{3}{4}$  l Inhalt wurden die Bruchstücke mit 300 ccm Leitungswasser in vertikaler Richtung derart während einer Stunde geschüttelt, daß in der Minute 30—40 Umdrehungen des Schüttelapparates erfolgten. In der Regel trat schon nach wenigen Minuten eine deutliche Trübung des Wassers ein, die beim frischen Material weniger intensiv bemerkbar war. Durch Passieren gewogener Faltenfilter wurde das Wasser von den zerriebenen Materialien und den Bruchstücken getrennt und nach zwei Stunden umfassendem Trocknen bei 105° das Gewicht der Fraktionen festgestellt. Die nachstehenden Angaben vermitteln in Prozenten des Trockengewichtes die erzielten Untersuchungsergebnisse:

	Steine	Feine Bruchstücke
Rohr 1: Material frisch . . . . .	96,2%	3,8%
14 Tage dem Bac. amylobacter aus- gesetzt . . . . .	91,4%	8,6%
75 Tage, desgleichen . . . . .	84,3%	15,7%
Rohr 5: Material frisch . . . . .	97,8%	2,2%
14 Tage dem Bac. amylobacter aus- gesetzt . . . . .	93,4%	6,6%
75 Tage, desgleichen . . . . .	84,9%	15,1%
Rohr 1: Material frisch . . . . .	96,2%	3,8%
14 Tage dem Streptococcus lactis ausgesetzt. . . . .	90,2%	9,8%
75 Tage, desgleichen . . . . .	81,8%	18,2%
Rohr 5: Material frisch . . . . .	97,8%	2,2%
14 Tage dem Streptococcus lactis ausgesetzt. . . . .	91,7%	8,3%
75 Tage, desgleichen . . . . .	82,5%	17,5%

Aus diesen Befunden geht hervor, daß die Bruchstücke von Zementrohren durch die Angriffe der geprüften Buttersäure- und Milchsäurebakterien nicht nur eine beachtenswerte Einbuße ihres Gewichtes erleiden, sondern gleichzeitig in ihrem *Widerstand gegen mechanische Bearbeitung*, wie dies durch Schütteln im Wasser geschieht, wesentlich heruntergesetzt werden.

Die *Ergebnisse* der ausgeführten Versuche und Untersuchungen, über die vorstehend berichtet wird, können folgendermaßen kurz zusammengefaßt werden:

1. Die den Meliorationsböden entnommenen Zementrohre lassen um so größere Mengen von Spaltpilzen, die mittels *Gußkulturen von*

*Nährgelatine* und *Zuckeragar* sowie durch *Zuckeragar* hoher *Schichtkulturen* nachweisbar werden, feststellen, je stärker sie angegriffen sind. Manche der nachgewiesenen Bakterienarten scheiden als Stoffwechselprodukte Verbindungen aus, welche Beton anzugreifen vermögen, so Kohlendioxyd, Milch-, Butter-, Essig-, Propionsäure u. a.

2. Die stark angegriffenen Zementrohre bergen bedeutende Mengen von *Buttersäure-* und *Milchsäurebakterien* sowie von *nitrifizierenden Spaltpilzen*, die bei den Angriffen der Meliorationsböden auf die Zementrohre mitbeteiligt sein dürften.

3. Die Böden, welche die Zementrohre umgeben, enthalten die Bakteriengruppen, auf die oben hingewiesen wurde, in so bedeutenden Mengen, daß von ihnen aus eine wirkungsvolle *Infektion des Rohrmaterials* jederzeit dann erfolgen kann, sobald annehmbare Lebensbedingungen für die einzelnen Spaltpilzspezies geboten werden.

4. Werden Zementrohrstücke in passender Nährlösung unter Bedingungen gehalten, welche das Zustandekommen von *Buttersäuregärung* begünstigen, so werden ansehnliche Gewichtsverluste durch die gebildete Buttersäure hervorgerufen. Die Gewichtsabnahme, bedingt durch *Bac. amylobacter* Bred. und *unreine Buttersäuregärung*, betrug im Mittel in Prozenten des Trockengewichtes: nach 12—14 Tagen 1,12%, nach 36—40 Tagen 2,51%, nach 70—75 Tagen 4,14% und nach 180 Tagen 7,61%. Die bescheidenste Gewichtseinbuße war beim Zementrohr 5 durch *Bacillus amylobacter* Bred. nach 12—14 Tagen mit 0,62% hervorgerufen, während der größte Gewichtsverlust beim Zementrohr 2 durch die *unreine Buttersäuregärung* nach 180 Tagen mit 9,22% verursacht wurde.

5. Noch größer waren die bei gleicher Einwirkungszeit durch einsetzende *Milchsäuregärung* an den Bruchstücken der Zementrohre bedingten Gewichtsverluste; sie betrugen im Mittel in Prozenten des Trockengewichtes: nach 12—14 Tagen 2,27%, nach 36—40 Tagen 4,76%, nach 70—75 Tagen 7,95% und nach 180 Tagen 14,10%. Der bescheidenste Gewichtsverlust war beim Zementrohr 5 durch *Bacterium acidi lactici* Hüppe nach 12—14 Tagen mit 0,32% nachgewiesen, während die höchste Gewichtseinbuße beim Zementrohr 2 durch die *unreine Milchsäuregärung* nach 180 Tagen mit 10,85% feststellbar war.

6. Durch die Einwirkung der *Buttersäurebazillen* und der *Milchsäurebakterien* wird außer der Gewichtsabnahme bei den Rohren noch eine Veränderung ihrer Widerstandsfähigkeit gegen die mechanische Bearbeitung, wie sie durch Schütteln in Wasser geschieht, hervorgerufen. Die durch bakterielle Einwirkung an ihrer Oberfläche rauh gewordenen Zementrohrstücke lieferten bei gleicher Behandlung viel mehr feinkörniges Abfallmaterial, als dies bei den frischen Bruchstücken der Fall war.

## 58. Die Melioration der Magadinoebene

Von

Dr. *Hans Fluck*, Dipl.-Ing., Bellinzona, Schweiz.

Magadinoebene nennt man den Talboden, der sich von Bellinzona in westlicher Richtung bis zum Dorfe Magadino am Langensee erstreckt. Da die Magadinoebene am Ufer des Verbano nur 194 m über Meer liegt, ist sie die tiefste Landschaft der Schweiz. Mit ihrer Länge von 15 km und ihrer Breite von 3 bis 3½ km ist sie zugleich die größte Ebene des Kantons Tessin und eine der größten der Schweiz. Doch nicht deswegen interessiert sie uns, sondern wegen des säkularen Problems ihrer Melioration.

Die Melioration der Magadinoebene zerfällt zeitlich in drei Abschnitte:

- I. die Tessinkorrektion, deren Bauzeit der Vergangenheit angehört,
- II. die eigentliche Melioration, d. h. die kulturtechnischen Bodenverbesserungen, die gegenwärtig in Ausführung stehen, und
- III. die Kolonisation, die der nahen Zukunft vorbehalten ist.

### *I. Die Tessinkorrektion.*

Wenn wir die Bedeutung der Tessinkorrektion richtig erfassen wollen, so müssen wir zunächst etwas im Geschichtsbuche des Kantons Tessin zurückblättern.

Als am Ende des 18. Jahrhunderts die französische Revolution ihre freiheitlichen Gedanken in die Welt hinausstreute, da haben auch die Tessiner sich des unwürdigen Joches der Landvögte entledigt, und im Jahre 1798 hat sich der Tessin als Kanton Bellinzona und Kanton Lugano erwartungsvoll der einen, unteilbaren helvetischen Republik angeschlossen. Die Bellinzoneser versäumten nicht, sofort das Helvetische Direktorium auf die dringlichsten Aufgaben im öffentlichen Wasser- und Straßenbau aufmerksam zu machen. Sie fanden auch williges Gehör, denn 1801 wurde der damalige Oberzolldirektor *Kupfer* mit dem Studium des Bellinzoneser Begehrens beauftragt. *Kupfer* befürwortete die Melioration der Magadinoebene, doch blieb sein Vorschlag ohne Folgen, da die neue Zentralregierung nur kurzen Bestand hatte.

Auch während der Mediations- und der daran anschließenden Restaurationszeit blieb die Tessinkorrektion ein frommer Wunsch, während doch damals unter der kundigen Leitung von *Hans Konrad Escher* das schöne Linthwerk verwirklicht wurde. An der einsichtigen Beurteilung der Lage fehlte es zwar nie. «Wenn die Regierung

# BONIFICA PIANO DI MAGADINO

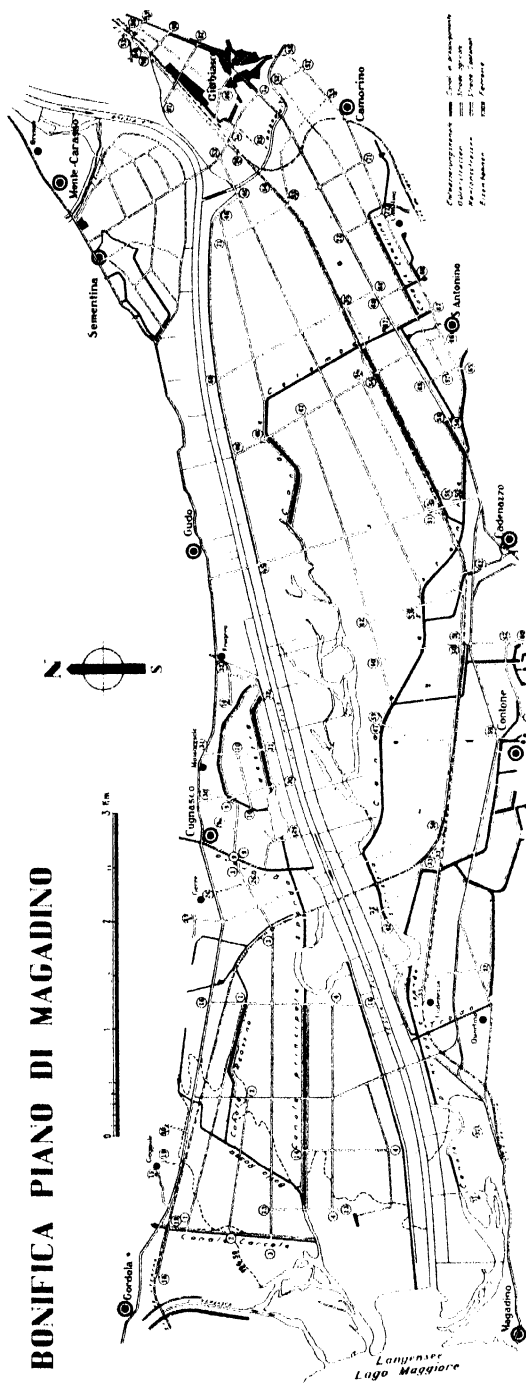


Abb. 1

unseres Kantons sowohl den großen Bedarf an Getreide für den gewöhnlichen und außergewöhnlichen Konsum, als auch die Schwierigkeit der schweren Zöllen unterworfenen Käseausfuhr ernsthaft vor Augen hält, so ist anzunehmen, daß sie alles versuchen wird, die Weidewirtschaft in richtige Landwirtschaft überzuführen, und einer der ersten und besten Schritte dazu wird die Melioration der Magadinoebene sein.» So äußerte sich vor hundert Jahren das nachmalige Mitglied des ersten Bundesrates *Stefano Franscini*.

Um die Mitte des vergangenen Jahrhunderts versuchte dann *Carlo Cattaneo* die Melioration der Magadinoebene mit Hilfe einer Aktiengesellschaft durchzusetzen. Die Kosten waren aber ohne Staatsbeiträge für die Beteiligten unerschwinglich, und so blieb es beim alten, immerhin hatte seine Initiative den Erfolg, daß der Kanton im Jahre 1853 ein Wuhrgesetz erließ.

Die Klagen über die unhaltbaren, gesundheitsschädlichen Zustände in der Magadinoebene kamen jedoch nicht mehr zum Verstummen. So schrieb ein Zeitgenosse über die Magadinoebene: «Wir treffen jetzt nur einzelne, arme Hirten und Bauern an, die stets wiederkehrenden Fiebern ausgesetzt sind. Sie haben ein sieches Aussehen und einen schwachen Körper und Geist. Sie würden frühe dahinsterven, hätten sie nicht das Glück, auswandern oder in den Sommermonaten auf die Berge fliehen zu können. Ist die Ebene einmal melioriert, dann werden wir die Bevölkerung zunehmen und gedeihen sehen. Die Tessinebene, die heute einen traurigen Anblick bietet, wird aufblühen und ein wichtiger Teil der Republik werden.»

Im Jahre 1862 endlich hat der Große Rat die Tessinkorrektion im Prinzip beschlossen und mit dem technischen Studium den Ingenieur *Fraschina* beauftragt. 1866 lag ein fertiges Projekt über die Korrektion des Tessins von Biasca bis an den Langensee vor. Der Kostenvoranschlag belief sich auf 4½ Millionen Franken, wovon 2½ Millionen von den beteiligten Grundeigentümern gedeckt werden sollten. Diese glaubten, eine solche Last nicht übernehmen zu können, und wieder blieb es beim alten.

Die furchtbare Tessinüberschwemmung von 1868 brachte zwar viele Beteiligte zur Überzeugung, daß das von ihnen geforderte Opfer unbedingt gebracht werden müsse, doch besserten sich die finanziellen Verhältnisse erst, als im Jahre 1871 das Eidgenössische Wasserbaugesetz in Kraft trat und damit beträchtliche eidgenössische Subventionen gesichert waren, sodann als im Jahre 1875 die Bahnlinien nach Locarno und Pino gebaut wurden und somit große Beiträge von Seiten der stark interessierten Bahnen in Aussicht standen. Das Projekt *Fraschina* war inzwischen infolge der Bahnbauten und der Veränderungen des Flußlaufes veraltet geworden, so daß zu Beginn der achtziger Jahre der damalige Kantonsingenieur *Banchini* zwei neue Projekte ausarbeitete, eines mit einfachem und eines mit doppeltem Profil. Trotzdem die Eidgenossenschaft bereit gewesen wäre, 40% der Kosten zu übernehmen, schreckten die Beteiligten zum dritten Mal vor den ungeheuren Kosten zurück, und es ist nur dem eidgenössischen Oberbauinspektor *von Salis* zu verdanken, daß nicht eine neue Pause eintrat. *Von Salis* schlug Vereinfachungen in

der Ausführung und Verteilung der Arbeiten auf verschiedene Perioden vor. Auf Grund dieser Vorschläge stellte Ingenieur *G. Martinoli* in den Jahren 1884—86 das endgültige Projekt auf, mit dessen Ausführung im Jahre 1888 endlich begonnen wurde.

Zunächst handelte es sich darum, ein 60 m breites Mittelgerinne zu schaffen, um das Nieder- und Mittelwasser aufzunehmen und das grobe Geschiebe in den Langensee zu leiten. Durch Streckung des Laufes konnte die Gesamtlänge des Flusses von 17 auf 13,5 km verkürzt werden. Das absolute Gefälle von der Sementinaeinemündung bis zum Langensee beträgt 22,22 m; das relative Gefälle wurde zu 2,7‰ bzw. 2,4‰ festgelegt für die Strecke oberhalb der Eisenbahnbrücke von Riazino und zu rund 1‰ unterhalb dieser Stelle. Dem Fluß behagte dieser scharfe Gefällswechsel aber nicht und er rundete ihn mit Geschiebe derart aus, daß die Eisenbahnbrücke in der Folge um etwa 1½ m gehoben werden mußte.

Beim Bau des Mittelgerinnes wurden zunächst zwei Leitkanäle von je 15 m Breite und 2,5 m Tiefe gegraben. Die äußeren Böschungen schützte man durch steinerne Leitwerke (Wuhre). Der Abtrag des 30 m breiten Mittelstreifens wurde dem Flusse selbst überlassen und von diesem auch getreulich ausgeführt.

Bei Hochwasser trat der Tessin jeweilen über die Wuhre aus und füllte, durch mächtige Steintraversen gebremst, die alten Flußläufe allmählich mit feinem Geschiebe aus. Bis auf eine Entfernung von 200 m vom Ufer gelang die Kolmatierung sehr gut, auf größere Distanzen dagegen bildeten sich keine Ablagerungen mehr. Der feine Sand blieb in der Nähe des Mittelgerinnes liegen und drohte dieses Gelände derart zu erhöhen, daß das überströmende Wasser die Kulturen und namentlich den Eisenbahndamm der Linie Cadenazzo-Riazino immer mehr gefährdete.

Als dann im Jahre 1906 dieser Bahndamm vom Hochwasser tatsächlich durchbrochen wurde, sahen auch die bisherigen Gegner die Notwendigkeit eines Hochwasserschutzes ein. In der Entfernung von 100 m von den Leitwerken wurden 4—5 m hohe Hochwasserdämme erstellt. Die Berechnung des Querprofils stützte sich auf einen Abfluß von 1 m³/km²/sec. Die 2,5 m breite Dammkrone wurde 0,60 m höher gelegt als der berechnete höchste Wasserspiegel. Die 1½füßigen Böschungen schützte man auf der Wasserseite mit einer starken Steinschüttung und auf der Luftseite verstärkte man den Damm stellenweise durch Bermen. Leider stand kein lehmiges Material zur Verfügung, so daß kein dichter Lehmkern vorgesehen werden konnte. Die Hochwasserdämme sind daher nicht wasserdicht; an vielen Stellen ist die Filtration sogar sehr stark.

Am Dammbruch des 9. Oktobers 1913, der vielleicht noch dem einen oder andern der verehrten Zuhörer Erinnerung ist, war nicht die Durchlässigkeit der Hochwasserdämme Schuld, sondern die Auflandung des Mittelgerinnes. Der Wasserspiegel erreichte am genannten Unglückstage an mehreren Stellen die Dammkrone. Am rechten Ufer unterhalb des Progero sind bei einem Wasserstand von 30 cm unter der Dammkrone zwei Dammbrüche von 90 m und 130 m Länge entstanden. Das Wasser gelangte nach dem Ausbruch und Durch-



bruch der Dämme des Riarena bis zum Eisenbahndamm und zerstörte ihn bei zwei Durchlässen und an einer dritten Stelle. Leider hatte das Hochwasser den Absturz eines Eisenbahnzuges und den Tod von zwei Menschen zur Folge.

Auf Grund dieser bitteren Erfahrungen wurden die Dämme erhöht. Gegenwärtig wird zur Verstärkung der Schleppkraft auch das Mittelgerinne ausgebaggert und das gewonnene Material zur Ausfüllung der Vertiefungen im Vorlande verwendet. Das Resultat dieser Vorkehrungen scheint nach den bisherigen Beobachtungen sehr befriedigend auszufallen. Unsererseits suchen wir die Dämme dadurch zu verstärken, daß wir die Vertiefungen längs des äußern Dammfußes ausfüllen und das Filtrierwasser unsern Kanälen zuführen. Zudem unterstützen wir die Aufforstungs- und Verbauungsarbeiten im Einzugsgebiet des Tessin, speziell im Bleniotal, um der Bildung gefährlicher Hochwasser und Rufen vorzubeugen.

Die Tessinkorrektion wird von einer öffentlich-rechtlichen Genossenschaft durchgeführt mit kräftiger Unterstützung von Seiten des Kantons und der Eidgenossenschaft.

Gegenwärtig sind die Arbeiten der Tessinkorrektion im Abschluß begriffen. Mit einem Aufwand von etwa 10 Millionen Franken ist es nach einem halben Jahrhundert unermüdlicher Arbeit gelungen, die Malaria zu verdrängen und das Land vor dem Hochwasser des Tessins zu schützen. Nur in der Gegend von Quartino und in der Ebene von Cugnasco trat der Tessin noch alljährlich aus und überschwemmte die Umgegend, weil dort der Hochwasserdamm offengelassen werden mußte, um dem Tagwasser der Ebene und der umliegenden Hänge den Eintritt in den Tessin zu gestatten. Es blieb der Genossenschaft für die Melioration der Magadinoebene vorbehalten, die Breschen in den Jahren 1935 und 1936 zu schließen und das Tagwasser unter dem Wildbach Trodo und unter dem Riale Riarena durch in Binnenkanälen in den Langensee zu leiten. Damit erst kam die Tessinkorrektion zum Abschluß und bildete die sichere Basis für die eigentliche Melioration der Magadinoebene.

## *II. Die kulturtechnischen Arbeiten.*

### *A. Die natürlichen Grundlagen.*

Geologisch ist die Magadinoebene als jüngstes Alluvium zu bezeichnen. Die im Untergrund vorhandenen groben Flußschotter sind durch Sandablagerungen von 1 bis 2 und mehr Meter Mächtigkeit überdeckt. Das Muttergestein enthält sämtliche Gesteins- und Mineralarten, die im Einzugsgebiet des Tessin vorkommen: Granit, Gneis, Bündnerschiefer, Triasdolomit. Die angeschwemmten Sande enthalten daher Feldspäte, Glimmer, Quarz und Kalzit. Der Karbonatgehalt beträgt etwa 7%. Die Reaktion ist stark alkalisch (pH-Wert 8,0—8,2).

Das Klima stellt einen Übergang zwischen dem Podsol-Braunerklima der gemäßigten Zone und dem Roterdeklima der warmen

humiden Zone dar. Die wichtigsten klimatischen Anhaltspunkte mögen aus den Beobachtungen der beiden nächstgelegenen Stationen hervorgehen:

	<i>Bellinzona</i>	<i>Locarno</i>
Höhe über Meer . . . . .	235 m	237 m
Jahresniederschlag . . . . .	1693 mm	1910 mm
Maximaler Tagesniederschlag . . . . .	196 mm	178 mm
Mittlere Jahrestemperatur . . . . .	12,0° C	11,8° C
Mittlere relative Luftfeuchtigkeit . . . . .	70 %	—
Wärmster Monat . . . . .	22,3° C	21,9° C
Kältester Monat . . . . .	1,6° C	2,0° C
Maximale Temperatur . . . . .	31,7° C	29,6° C
Minimale Temperatur . . . . .	-4,9° C	4,9° C
Anzahl der Frosttage . . . . .	46,6	32,2
Anzahl der Nebeltage . . . . .	9,1	2,2
Regenfaktor nach Lang . . . . .	141	162
NS-Quotient nach A. Meyer . . . . .	535	ca. 620

Neben dem hohen Jahresniederschlag und dem gewaltigen maximalen Tagesniederschlag fallen besonders die hohen Lufttemperaturen auf. Welch hohe Wärmemenge in der Magadinoebene angesammelt wird, mag daraus hervorgehen, daß von allen schweizerischen Beobachtungsstationen Bellinzona die höchste mittlere Jahrestemperatur und die höchste Sommertemperatur und Locarno die höchste Wintertemperatur aufweist.

Die bodenkundlichen Verhältnisse der Magadinoebene sind von Dr. Gessner in vorzüglicher Weise untersucht worden. Wir entnehmen seiner Veröffentlichung<sup>1)</sup> folgenden Befund:

«Die klimatischen Bedingungen lassen die Bildung eines Übergangstypus zwischen Braunerde und Roterde erwarten. Das im Felde feststellbare Bild des Bodenprofils entspricht durchaus einem Braunerdeprofil. Die chemischen Analysen zeigen, daß die Verwitterung durch eine rasche Karbonatauswaschung und eine relative Sesquioxidanreicherung in den Oberflächenschichten gekennzeichnet ist. Der relativen Sesquioxidanreicherung entspricht eine deutliche Auswaschung von Kieselsäure; die Rechnung ergibt, daß in fortgeschrittenen verwitterten Bodenschichten etwa ein Drittel der ursprünglich vorhandenen Kieselsäure ausgewaschen ist.

Ein Vergleich mit andern Bodentypen ergibt, daß der erwartete Übergangstypus zwischen Braunerde und Bodentypen wärmerer, humider Gebiete vorliegt.

Der Bodentypus wird (nach einem Vorschlag von Pallmann) als „insubrische Braunerde“ bezeichnet.»

Vom hydrologischen Standpunkte aus interessiert vor allem der korrigierte Tessinfluß. Bei seiner Einmündung in den Langensee hat der Tessin ein Einzugsgebiet von 1616 km<sup>2</sup>, das sich wie folgt gliedert:

<sup>1)</sup> Bericht Nr. 61 der Eidg. Materialprüfungsanstalt an der E. T. H.: Der Boden des untersten Tessintales.

Fels- und Schutthalden . . . . .	425 km <sup>2</sup>
Wälder . . . . .	381 »
Firn und Gletscher . . . . .	26 »
Seen . . . . .	3 »
Übriges Gebiet . . . . .	781 »
Gesamtes Einzugsgebiet . . . . .	1616 km <sup>2</sup>

Über die Abflußverhältnisse des korrigierten Tessinflusses mögen die nachfolgenden, in Bellinzona gemachten Beobachtungen orientieren:

Datum der Beobachtung	Wasserstand m ü. M.	Wassermenge		Bemerkungen
		m <sup>3</sup> /sec	Lit/sec/km <sup>2</sup>	
25. 9. 27	224,54	1500	990	Maximum
—	219,50	76,7	50,6	Mittel
7. 2. 22	219,03	12	7,9	Minimum

Für die Entwässerung der Magadinoebene sind die nachfolgenden Tatsachen von grundlegender Bedeutung:

a) Der Mittelwasserspiegel erreicht an einigen Stellen die Höhe des anstoßenden Talbodens.

b) Der Hochwasserspiegel liegt überall mehrere Meter über dem Talboden.

c) Der Wasserspiegel steigt nicht selten innert 24 Stunden über 4 m.

d) Nur die Monate Dezember, Januar, Februar und März sind praktisch als hochwasserfrei zu betrachten.

Auch der Langensee ist trotz seines 212 km<sup>2</sup> umfassenden Flächeninhaltes sehr starken Wasserspiegelschwankungen unterworfen:

Absolutes Maximum. . .	200,23 m ü. M.	4. 10. 1868
Mittel der jährl. Maxima. . .	195,32 » »	
Mittel . . . . .	193,18 » »	
Mittel der jährl. Minima . . .	192,44 » »	
Absolutes Minimum . . .	191,99 » »	14.—17. 1. 1922

Bei der katastrophalen Überschwemmung des Jahres 1868 stand die halbe Magadinoebene unter Wasser. In Locarno und Magadino finden wir heute noch an mehreren Häusern auf der Höhe des ersten Stockwerkes Marken, die die Höhe des Wasserstandes vom 4. Oktober 1868 angeben. Seither ist dank der Aufforstungen und Verbauungen kein solch hoher Wasserstand mehr beobachtet worden. Als praktisch höchster Wasserstand kann man die Höhe von 196,50 ansehen; sie wird nur ganz selten überschritten.

### *B. Die Durchführung der kulturtechnischen Bodenverbesserungen.*

Die eigentliche Melioration konnte naturgemäß erst in Angriff genommen werden, nachdem die Tessinkorrektion die Grundlage für die Entwässerung geschaffen hatte. Im Jahre 1902 wurden die ita-

lienischen Ingenieure *Acerbo* und *Urbani* vom Tessinischen Landwirtschaftsdepartement beauftragt, ein Vorprojekt für die Melioration der Magadinoebene auszuarbeiten. Die Projektverfasser legten nach unserer Ansicht aber zu großes Gewicht auf die Bewässerung, und es ist vielleicht dies ein Grund, weshalb ihr Projekt ohne praktische Folge geblieben ist. Erst als in den Kriegs- und Nachkriegsjahren die Behörden gezwungen waren, mit allen Mitteln neues kulturfähiges Land zu beschaffen, dachte die Tessiner Regierung wieder an die Melioration der Magadinoebene. In ihrem Auftrage wurden im Jahre 1918 u. ff. einige Entwässerungskanäle ausgeführt, doch stellte man auf Drängen der beteiligten Grundeigentümer die Arbeiten im Jahre 1921 wieder ein. Erst ein volles Jahrzehnt später konnte das Werk weitergeführt werden, und heute ist mehr als die Hälfte davon vollendet.

Die eigentliche Melioration der Magadinoebene umfaßt vor allem die Entwässerung, den Bau des Wegnetzes und die Güterzusammenlegung.

Die Entwässerung bezweckt in erster Linie die Ableitung des Tagwassers, das auf die umliegenden Hänge und die Ebene selbst fällt. Das Einzugsgebiet aller Kanäle mißt 50 km<sup>2</sup>, wovon 24 km<sup>2</sup> steile Hänge sind. Unter der Annahme eines spezifischen Abflusses von 1 m<sup>3</sup>/sec für die Ebene und 3 m<sup>3</sup>/sec für die Hänge ergibt sich eine totale Abflußmenge von rund 100 m<sup>3</sup>/sec. Die Gesamtlänge aller Entwässerungskanäle beträgt 25 km. Die Sohlenbreite schwankt zwischen 0,50 m und 11,00 m, die Tiefe zwischen 2,0 m und 4,5 m. Das Gefälle der großen Kanäle liegt zwischen 0,9‰ und 20‰. Bei so kleinem Gefälle genügt zum Schutze der Sohle eine 10 bis 20 cm starke Kiesschicht; bei sehr starkem Gefälle wird die Sohle gepflastert. Die Böschungen 1 : 1½ haben sich in unserm sandigen Boden als zu steil erwiesen; das Verhältnis 1 : 2 scheint gerade zu genügen. Der Böschungfuß wird mit Bruchsteinpflaster oder Mauerwerk geschützt. Das Steinmaterial stammt aus den Granitbrüchen der Leventina und aus dem Verzascatal.

Das Tagwasser der linken Talseite wird in drei Kanalnetzen gesammelt und dem großen Binnenkanal zugeführt, der es unter dem Wildbach Trodo durch in den See leitet. Die Erstellung der Kanalbrücke des Trodo (Abb. 2) war die schwierigste Arbeit der ganzen Melioration, mußte doch das Fundament der mächtigen Widerlager bis auf 5 m unter den Wasserspiegel des nahen Tessinflusses getrieben werden.

Auf dem rechten Tessinufer haben wir drei Entwässerungskanäle (Abb. 3), die alle in die Bolla Rossa ausmünden. Am Riale Riarena, dessen rechtes Ufer noch mit einem Hochwasserdamm versehen werden mußte, besteht ein Gegenstück zur Kanalbrücke des Trodo in Form eines 3,4 m breiten und 35 m langen Durchlasses des rechten Hauptkanales.

Neben der Ableitung des Tagwassers haben die Entwässerungskanäle auch die Aufgabe, den Grundwasserspiegel dort abzusenken, wo er zu hoch liegt, oder als Vorfluter für später noch notwendig sich erweisende Dränungen zu dienen. Da der Boden sehr durchlässig ist und die Gefahr besteht, daß der unbewässerte Boden in den Monaten Juli und August an Trockenheit leiden könnte, werden vorläufig überhaupt keine Dränungen ausgeführt.

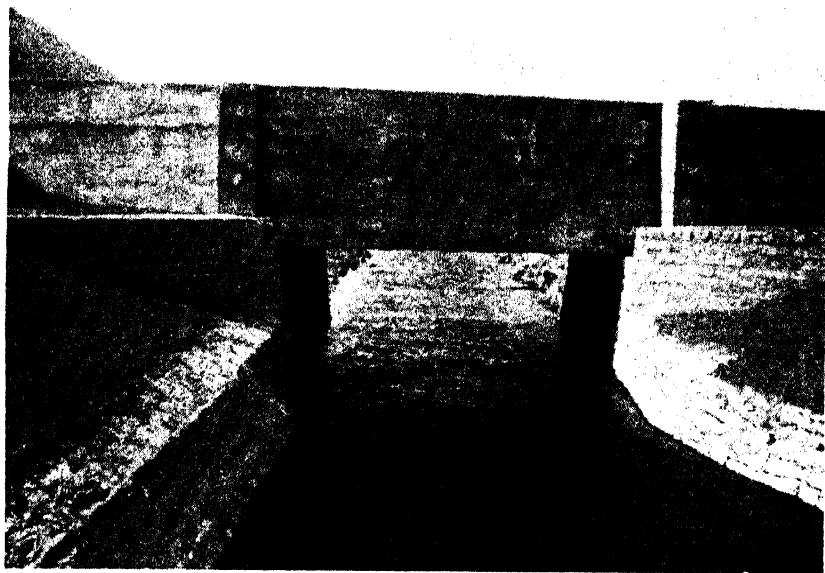


Abb. 2. Linker Binnenkanal mit der Kanalbrücke des Wildbaches «Trodo»

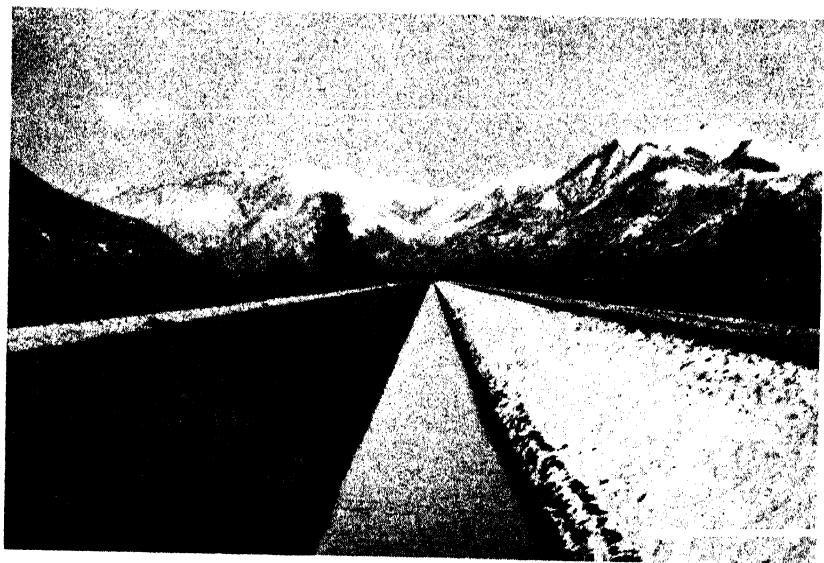


Abb. 3. Binnenkanal des rechten Tessinufers

Auch die Bewässerung, die namentlich im obern Teil der Magadinoebene von größter Bedeutung ist, muß auf später verschoben werden, da die zur Verfügung stehenden finanziellen Mittel dazu nicht ausreichen würden. Wir begnügen uns vorläufig mit der bestehenden Bewässerung, die das Wasser aus der kalten Morobbia bezieht. Die Frage, ob bei einer kommenden Bewässerung das Abwasser der Stadt Bellinzona verwendet werden kann und ob das Wasserwasser vorteilhafter mit einer Schwergewichtsleitung oder mit Hilfe von Pumpen aus dem Tessin gewonnen wird, muß noch eingehend studiert werden.

Neben der Entwässerung gehört die Anlage von Straßen zu den wichtigsten Aufgaben der Melioration der Magadinoebene. Es bestand zwar bereits ein engmaschiges Wegnetz, doch waren die Wege sehr schlecht und endigten in Sackgassen. Die zahlreichen Bäche und Gräben mußten in Furten überschritten werden. Bis vor wenigen Jahrzehnten bestand die einzige fahrbare Querverbindung in der Straße von Riazзино nach Contone, wobei der Tessin mit Hilfe einer Fähre überquert werden mußte. Die erste durchgängige Querverbindung brachte die Straße Gordola-Quartino. Im Jahre 1907 wurde dann eine landwirtschaftliche Tessinbrücke bei Gudo erstellt; sie blieb jedoch ohne Verbindung mit den Ortschaften der linken Talseite. Die Genossenschaft für die Melioration der Magadinoebene hat dann diese fehlende Verbindung erstellt. Weiter hat sie eine neue Querstrasse zwischen Giubiasco und Sementina mit einer 263,50 m langen und 5 m breiten geschweißten Stahlbrücke gebaut. Damit sind die obern Ortschaften der rechten Talseite mit der Bahnstation, der Großmühle, der Genossenschaftskelterei und dem Marktplatz Giubiasco verbunden worden. Für die Landwirte der Gemeinden Montecarasso und Sementina, deren Grundeigentum zum großen Teil auf dem linken Tessinufer gelegen ist, wurde der Weg vom Wirtschaftshof zum Grundstück und zurück um volle 9 km abgekürzt.

Mit Ausnahme der wichtigsten Querstraßen erhalten die Wege nur ein 3 m breites und 15 bis 20 cm starkes Steinbett, das mit einer 10 cm starken Schicht Schlagkies überdeckt wird. Gewöhnliche Kiesstraßen haben sich nicht bewährt.

Die gesamte Länge der ausgeführten und projektierten Straßen und Wege beträgt etwa 120 km. Auf ein Hektar entfällt im Mittel eine Weglänge von 40 m. Es kann kein Zweifel darüber bestehen, daß mit der Güterzusammenlegung noch viele Ergänzungswege nötig sein werden, um jedes Gehöft zugänglich zu machen.

Zu erwähnen ist ferner, daß mit der Erstellung des neuen Wegnetzes fünf gefährliche Niveauübergänge der Bahnlinie Bellinzona—Locarno in Über- oder Unterführungen umgebaut werden.

Die Entwässerungskanäle werden mit über 50 größeren oder kleineren Brücken überquert. Ihr Bau bot im allgemeinen keine Schwierigkeiten; nur in der untern Talhälfte mußten Pfählungen vorgenommen werden, um die Widerlager zu erstellen. In einigen Fällen genügten Holzpfähle; nur bei der Bolla Rossa mußten Eisenbetonpfähle von 8 bis 13 m Länge verwendet werden, um die nötige Tragfähigkeit sicherzustellen.

Gleichzeitig mit dem Bau der Kanäle und der Wege wird das ganze Meliorationsgebiet einer Güterzusammenlegung unterworfen.

Wenn möglich sollen zunächst die äußerst ungünstig verlaufenden Gemeindegrenzen verbessert werden. Sodann soll die Anzahl der Grundstücke eine wesentliche Verminderung erfahren. Die Magadinoebene ist nämlich nicht, wie man anzunehmen pflegt, hauptsächlich im öffentlichen Besitz, sondern zu über vier Fünfteln im Privateigentum. Die 12 000 alten Grundstücke gehören etwa 3700 Eigentümern. Da aber sehr oft mehrere Angehörige ein und derselben Familie Grundstücke besitzen, kann man nicht angeben, wie viele Grundstücke im Mittel von ein und demselben Wirtschaftshof aus bearbeitet werden. Mit der Güterzusammenlegung soll Totalarrondierung angestrebt werden, doch wird die Verschiedenheit des Bodens namentlich im untern Teil der Ebene oft dazu zwingen, einem Grundeigentümer mehrere Grundstücke zuzuweisen, und zwar Ackerland, Dauerwiesland und Streuland. Die Form aber soll möglichst günstig sein; auf alle Fälle müssen die krummen Grenzen und die Servitude verschwinden und die Grundpfandrechte neu geregelt werden.

Alle kulturtechnischen Arbeiten der Magadinoebene werden von der öffentlich-rechtlichen Genossenschaft für die Melioration der Magadinoebene ausgeführt. Die Genossenschaft wird von sämtlichen 3700 Grundeigentümern der Ebene gebildet. Das 3450 ha große Perimetergebiet liegt in den Bezirken Bellinzona und Locarno und umfaßt 14 politische Gemeinden. Das ausführende Organ ist die Zentraldelegation, die aus 11 Mitgliedern besteht. Präsident war bis zum Jahre 1934 a. Staatsrat Prof. *Galli* und seither Staatsrat Dr. *Martignoni*, Direktor des kant. Landwirtschaftsdepartementes. Die Zentraldelegation verfügt über ein technisches und administratives Bureau für die Bauleitung und Verwaltung. Sämtliche Arbeiten werden auf Grund öffentlicher Ausschreibungen an Privatunternehmer zur Ausführung vergeben. Mit Ausnahme einiger Spezialarbeiten sind bisher alle Werke an tessinische Unternehmer vergeben und von diesen zu unserer vollen Zufriedenheit ausgeführt worden.

Die Gesamtkosten der kulturtechnischen Arbeiten werden sich etwa wie folgt verteilen:

Entwässerung . . . . .	Fr. 1 945 000
Wegnetz . . . . .	» 1 100 000
Brücken über die Kanäle . . . . .	» 350 000
Tessinbrücken . . . . .	» 330 000
Güterzusammenlegung . . . . .	» 400 000
Projekte, Bauleitung usw. . . . .	» 475 000
Total	Fr. 4 600 000

In dieser Summe sind die Kosten für die im Jahre 1918/21 ausgeführten Arbeiten nicht inbegriffen, ebensowenig die Kosten für die Verwaltung, den Unterhalt der ausgeführten Werke, den Zinsendienst, die Enteignungen usw.

Der Bund deckt 50% der Entwässerungskosten und 60% der Kosten des Wegnetzes und der Güterzusammenlegung. Der Kanton Tessin unterstützt die Melioration mit 35% der gesamten Baukosten. Die Grundeigentümer haben etwa 12% der subventionierbaren Kosten zu tragen, sowie die erheblichen nicht subventionierbaren Auslagen.

Die Gesamtbelastung der Grundstücke durch die kulturtechnischen Arbeiten beträgt im Mittel etwa 5 Rappen je Quadratmeter.

Gegenwärtig ist die Hälfte der Arbeiten fertiggestellt. Trotz des schlechten Baugrundes und der unvermeidlichen Überschwemmungen während des Baues ist der Kostenvoranschlag nicht überschritten worden, und es ist zu hoffen, daß auch die leichter auszuführende zweite Hälfte, die bis zum Jahre 1940 vollendet sein soll, keine Kostenüberschreitung bringen wird.

### *III. Die Kolonisation.*

Der Endzweck der Melioration der Magadinoebene, die Schaffung von neuem Nähr- und Wohnraum, kann nur dann voll erreicht werden, wenn die Flußverbauung und die kulturtechnischen Arbeiten durch die Kolonisation ergänzt werden.

Der Kanton Tessin hat die Innenkolonisation dringend nötig, weil er ein ausgesprochenes Bergland ist und verhältnismäßig wenig Kulturland besitzt, weil er ferner keine stark entwickelte Industrie aufweist und von allen schweizerischen Kantonen die stärkste Landflucht verzeichnet. Zudem leidet der Tessin mehr als alle andern Kantone an der Unterbindung der Auswanderung und an der Rückwanderung aus dem Auslande.

Die Magadinoebene hatte zwar schon vor der Ausführung der Tessinkorrektion eine ansehnliche Besiedlung an den Talrändern. Die Ebene selbst war aber unbewohnbar. Nur von Cadenazzo und Contone aus haben sich auf der etwas erhöhten Ebene Ausläufer von wenigen Einzelsiedlungen gegen den Tessin vorgeschoben. Mit der fortschreitenden Flußverbauung entstanden dann im oberen Teil der Ebene etwa 40 bis 50 weitere Ansiedlungen, während das untere rechte Tessinufer fast unbesiedelt blieb.

Die bisherigen Siedlungen sind teils ständiger, zum größeren Teil aber temporärer Natur. Die letzteren sind nur während der Heu- und Öhlnernte, sowie im Spätherbst und Winter bewohnt, solange geweidet werden kann und solange der Heuvorrat für das eingestellte Vieh ausreicht. Die Eigentümer der temporären Siedlungen wohnen in den Dörfern des Ison- und Verzascatales, oft in einer Entfernung von 20 km von der Ebene. Es ist klar, daß bei einem solchen Nomadenbetrieb von einer intensiven Kultur keine Rede sein kann.

Nachdem nun die Überschwemmungsgefahr beseitigt ist und die Entwässerung und Bestraßung bald verwirklicht sein werden, sollten an Stelle der temporären ständige Siedlungen treten. Es ist natürlich nicht möglich, die ganze Ebene in Neusiedlungen aufzuteilen, denn der größte Teil des Landes wird weiterhin von den Randdörfern aus bewirtschaftet werden. Sodann sollen vor allem die bestehenden Siedlungen ausgebaut und mit dem nötigen Umland versehen werden. Immerhin kann man mit einer Neubesiedlung von etwa 300 ha rechnen.

Prof. Dr. Bernhard,<sup>1)</sup> der die Siedlungsmöglichkeit in der Magadinoebene eingehend untersucht hat, empfiehlt, das verfügbare Land

<sup>1)</sup> Schriften der Schweiz. Vereinigung für Innenkolonisation und industrielle Landwirtschaft. Nr. 23 und Nr. 50. Zürich, Theaterstr. 14.



in 30—40 bäuerliche Einzelhöfe von je 7 ha Größe aufzuteilen. Die große Regenmenge und das Stalldüngerbedürfnis des Sandbodens lassen es als geraten erscheinen, Viehwirtschaften mit ergänzendem Ackerbau einzurichten (5 ha Wiese, 1 ha Mais und 1 ha weiterer Ackerbau und Gemüse).

Mit Bezug auf die Baufrage empfiehlt Prof. *Bernhard* eindringlich, einfach und billig zu bauen. Die Gebäude sollen Wind und Wetter trotzen und minimalen Wirtschaftsbedürfnissen dienen. Als Bautyp wird ein Wohnhaus mit angebautelem Ökonomiegebäude vorgeschlagen. Das Wohnhaus umfaßt vier Räume (Wohnküche und drei Schlafzimmer) mit Loggia und windgeschützter Piazzetta. Das Ökonomiegebäude ist für 10 Stück Großvieh vorgesehen mit Stall, Futtertisch, Heuwalmen, Vorratsraum, Querdurchfahrt mit einfachem Aufzug usw. Das Ganze soll mit Tessiner Naturstein und im einheimischen Baustil gebaut werden. Die Kosten einer Siedlung (ohne Land) sind zu 25 000 Fr. veranschlagt. Vorläufig soll an Hland einer Mustersiedlung den Siedlungsanwärtern ein Beispiel vor Augen geführt werden. Wir hoffen aber zuversichtlich, daß recht bald das ganze Siedlungswerk verwirklicht werden kann. Das wackere Tessiner Volk hat in der Magadinoebene schon ganz hervorragende Pionierarbeit geleistet; es wird auch noch diesen letzten Lieb tun, und Mutter Helvetia wird ihm weiterhin ihre getreue Mithilfe an diesem vaterländischen Werke nicht versagen.

Die Melioration der Magadinoebene hält natürlich keinen Vergleich mit dem riesenhaften Werk aus, das unser südlicher Nachbar z. B. in den Pontinischen Sümpfen vollbringt. Sie verschwindet gegenüber den ausgedehnten deutschen Moorverbesserungen und dem gigantischen Kampf, den die niederländischen Ingenieure an der Zuidersee aufgenommen haben. In unserm bescheidenen schweizerischen Rahmen aber ist die Melioration der Magadinoebene eines der größten Unternehmen, das seinesgleichen nur in der Melioration der Rhoneebene hat.

Die Kosten sind überraschend gering. Wenn es trotzdem über ein Jahrhundert brauchte, um das Werk zu verwirklichen und heute noch nicht alle Finanzierungssorgen gebannt sind, so liegt das nicht an den technischen Schwierigkeiten, sondern an der mangelhaften Organisation des Meliorationskredites. Wohl besteht die Möglichkeit, Meliorationsdarlehen durch öffentlich-rechtliche privilegierte Bodenverbesserungspfandrechte sicherzustellen.<sup>1)</sup> Unsern Banken geht aber leider das Verständnis für diese Einrichtung zum größten Teil noch ab. Sie ziehen es vor, ein riskiertes Handelsunternehmen gegen hohen Zinsfuß kurzfristig zu belehnen, statt einen langjährigen, absolut gesicherten Meliorationskredit zu niedrigem Zinsfuß zu gewähren. Sollen die erfreulichen Fortschritte der Kulturtechnik, die sie zum großen Teil der gewaltigen Entwicklung der bodenkundlichen Wissenschaft verdankt, voll ausgenützt werden, so muß die Organisation des Meliorationskredites in der Schweiz bedeutend besser ausgebaut werden.

<sup>1)</sup> Dr. *Hans Fluck*: Die Bodenverbesserungspfandrechte der Schweiz. Verlag Emil Rügge, Zürich 5.

## 59. Signification des résultats obtenus avec les sondes dynamométriques

Par

M. S. Hénin, Versailles, France.

### *Plan du mémoire.*

#### *Introduction*

#### *Etude des divers types d'appareils*

- a) Etude du mode de fonctionnement
- b) Considérations sur le travail de ces appareils

#### *Etude des diagrammes*

- a) Résultats types
- b) Comparaison d'un résultat particulier et d'un résultat type
- c) Comparaison des diagrammes des différents types d'appareils
- d) Etude de l'indice  $A$

#### *Application de l'indice $A$*

#### *Conclusions*

### *Introduction.*

Les sondes, bèches dynamométriques et compacitémètres sont des appareils conçus, en principe, pour donner une notation empirique de la dureté du sol. La mesure consiste à déterminer la force ou le travail nécessaire pour amener la pénétration d'une pièce métallique dans le sol.

Dans ce mémoire, nous nous proposons de montrer les conclusions que l'on peut tirer de l'emploi de ces appareils.

### *Etude des divers types d'appareils.*

#### *a) Etude du mode de fonctionnement.*

Nous classerons les appareils en deux groupes:

1<sup>o</sup> Ceux dont la pénétration est provoquée par une pression. Cette pression est mesurée par la déformation d'un ressort taré par lequel s'effectue la transmission de la force appliquée à l'appareil transmise à la pièce travaillante. Les résultats sont exprimés sous forme de diagrammes donnant les variations de la pression exercée en fonction de la profondeur à laquelle se trouve l'extrémité de la pièce travaillante, ce type d'appareil se divise en deux sous-groupes:

A) La pression est transmise par un système d'engrenage ou par des poids (*Sourisseau* (1); *Vincens* (2); *Culpin* (3); *Demolon-Hénin* (4)).

B) La pression est exercée directement par le manipulateur (*Vincens* (2); *Davies* (5); *Meyenburg* (6); *Polikeit* (7), etc.).

II<sup>o</sup> Ceux dont la pénétration est provoquée par la chute d'un poids. Les résultats sont alors représentés sous forme de diagrammes donnant le travail ou le nombre de chocs (ce qui revient au même) fourni à l'appareil pour le faire pénétrer à une profondeur donnée, tels sont les appareils de *Keen* et *Cashen* (8), *Heath* (9), *Till* (10) et *Baranio* (11).

Si en effectuant une mesure avec un appareil du type I A nous arrêtons le mouvement de la pièce travaillante, deux cas peuvent se produire.

Si la vitesse d'enfoncement de la pièce était lente, le ressort conserve la déformation qu'il avait lors du mouvement de la pièce. Au contraire, si la descente était rapide, le ressort, au moment de l'arrêt, se détend en partie. Nous pouvons donc écrire:  $F$  (la force enregistrée) =  $S + f(a, v) v$ , ou  $S$  représente l'ensemble des forces statiques de résistance et  $f(a, v)$  les forces de frottement pour une vitesse  $v$ . L'expérience montre que pour tous les sols il existe une valeur de  $v$  telle que  $f(a, v) v$  est négligeable par rapport à  $S$ .<sup>1)</sup>

D'après *Culpin*,  $v$  est petit s'il est inférieur à 0 cm 6 par seconde. D'après nos essais, cette vitesse est parfois trop grande et il est bon de vérifier de temps à autre, au cours des mesures, que  $f(a, v) v$  est négligeable.

Ces considérations nous conduisent à suspecter les résultats des appareils du type I B dans lesquels il est difficile de régler la vitesse d'enfoncement. Il en sera de même des appareils du type II si l'on communique à chaque choc une quantité de travail provoquant un enfoncement trop grand de la pièce travaillante.

#### b) Considérations sur les pièces travaillantes.

Les facteurs de la résistance statique sont:

La cohésion des éléments entre eux, la consistance (mesurée par le travail nécessaire pour déformer le sol par unité de volume déformé, l'adhérence du sol à la pièce travaillante.

Suivant la forme et la dimension de la pièce travaillante, on peut faire dominer l'un des trois facteurs, à moins toutefois que l'un d'entre eux ne produise une résistance nettement supérieure à celle des autres. Par exemple, dans le cas de la terre sèche, la cohésion l'emporta de beaucoup sur les autres facteurs.

Cependant, *Baranio* a déterminé l'adhérence du sol à une pièce métallique en comparant les résultats obtenus avec deux sondes, dont les pièces travaillantes étaient formées par des lames rectangulaires ayant une surface différente.

---

<sup>1)</sup> On peut rapprocher ces faits de la loi de *Bingham* qui s'exprime par la formule:

$$D = \frac{(P - P_0) k}{n}$$

où  $D$  est le débit,  $P$  la pression provoquant l'écoulement,  $P_0$  la pression nécessaire pour vaincre la rigidité (propriété statique),  $k$  le coefficient dépendant de l'appareil et  $n$  la pseudo-viscosité. On voit que pour  $D$  très petit,  $P \approx P_0$ .

Dans le cas des sols du type courant dans nos régions, il semble que ce soit la cohésion qui détermine la résistance à la pénétration.

Etant données les difficultés que l'on éprouve à établir une théorie du fonctionnement de ces appareils, en partant de propriétés du sol bien définies, telle que la résistance au cisaillement, à la pression, etc. le seul procédé pratique pour étudier les courbes obtenues dans un cas quelconque consistait à établir les résultats types qui servent de point de comparaison.

### *Etude des diagrammes.*

#### *a) Résultats types.*

Nous avons cherché à établir deux types extrêmes de diagrammes, l'un correspondant aux sols meubles et l'autre aux sols compacts. Nous avons employé pour constituer le sol meuble idéal à un sable de Fontainebleau dont la majeure partie des éléments étaient constitués par des grains ayant de 0 mm 2 à 0 mm 4 de diamètre. Pour constituer le type opposé, nous avons pris un sol de limon contenant environ 16% d'argile, mais tassé à l'état humide dans une caisse. Les résultats obtenus sont reproduits dans la figure 1. Leur examen permet de constater que:

1<sup>o</sup> Dans le cas du sable, la résistance augmente proportionnellement à la profondeur (droite OD).

2<sup>o</sup> Dans le cas de la terre compacte, la résistance après avoir augmenté rapidement sur une profondeur de quelques cms, reste constante (courbe OCD). Nous avons vérifié qu'un sol sec passé au tamis de 2 mm donnait bien les mêmes résultats que le sable. Nous en concluons donc que chaque fois que nous trouvons un diagramme où la résistance croît proportionnellement à la profondeur, nous aurons un sol meuble.

#### *b) Comparaison d'un résultat quelconque et d'un résultat type.*

Soit  $S_d$  la surface d'un diagramme quelconque OADP (figure 1),  $S_t$  la surface du triangle ODP, soit enfin le rectangle OADP. Ce

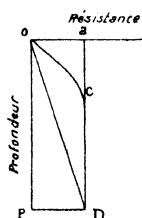


fig. 1

rectangle correspond théoriquement au travail nécessaire pour enfoncer la pointe dans un sol compact, la surface du triangle correspond au travail nécessaire pour enfoncer la pointe dans un sol meuble. Le problème consiste donc à comparer la surface du diagramme expérimental  $S_d$  à l'une de ces surfaces. Pour effectuer cette comparaison, nous avons choisi le rapport  $S_t / S_d$  que nous noterons A. Nous constaterons immédiatement que pour un sol sableux A doit être égal à 1 et pour un sol compact, A doit être voisin de 0,5.

#### *c) Comparaison entre les diagrammes fournis par les différents types d'appareils.*

Nous avons raisonné jusqu'ici sur des diagrammes force/profondeur. Or, les appareils du type II donnent des diagrammes travail/

profondeur. Avec cette notation, pour un sol cohérent, nous aurons  $F = dT/dx = \text{constante}$ , où  $dT$  est le travail fourni par un choc et  $dx$  la pénétration correspondante. A condition que  $dT$  et  $dx$  soient petits, nous pouvons écrire alors:

$$T = Fx \pm a.$$

Dans le cas d'un sol meuble et dans les mêmes conditions,

$$dT/dx = F_x = cx \text{ et } T = \frac{cx^2}{2} + a \text{ (a est d'ailleurs nul),}$$

expression que l'on peut encore écrire  $T = \frac{F_x x}{2}$ .

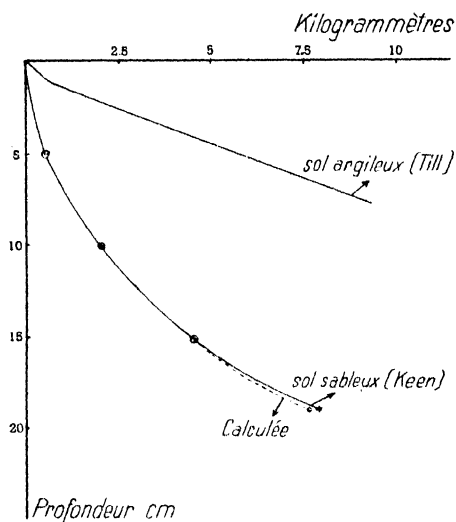


fig. 2

Nous avons vérifié ces formules sur les résultats de divers expérimentateurs. Le graphique figure 2, montre la concordance entre la courbe calculée et la courbe enregistrée dans le cas d'un sol meuble et dans le cas d'un sol compact.

#### d) Etude de l'indice A.

##### 1° Variation de l'indice A.

Nous allons calculer l'indice d'ameublissement théorique minimum que peut donner un appareil déterminé. Nous avons dit que les diagrammes caractéristiques des sols compacts présentaient d'abord une augmentation rapide de la résistance avec la profondeur, puis que cette

grandeur restait constante. Nous avons constaté sur nos diagrammes que la zone d'augmentation de la résistance coïncidait avec l'enfoncement de la pointe terminant la pièce travaillante de notre appareil, soit  $l$  la longueur de la pointe. Nous pouvons diviser le diagramme obtenu (figure 3) en deux parties: Première partie, un triangle ayant pour hauteur  $l$  et pour base  $F$ , la force constante; deuxième partie, un rectangle ayant comme grand côté  $P - l$  ( $P$  étant la profondeur totale du travail) et comme petit côté  $F$ . Le travail nécessaire pour enfoncer la pointe est égal à la surface totale du diagramme, soit:

$$\frac{lF}{2} + (P - l) F \text{ ou encore } (2P - l) \frac{F}{2}.$$

La surface du triangle pris comme référence (aire o a p) est  $PF$  d'où:

$$A = \frac{PF/2}{(2P - l) F/2} = \frac{P}{2P - l}.$$

Pour notre appareil qui travaille sur 20 cm de profondeur dont l'extrémité se termine par un cône ayant 4 cm 5 de long,

$$A \text{ (minimum)} = \frac{20}{40 - 4,5} = 0,57.$$

Or, les indices que nous obtenons pour des sols tassés en caisse dans des conditions de bonne homogénéité, varient de 0,59 à 0,60.

D'autre part, dans le cas du sable et d'une terre meuble, tout ce passe comme si l'était égal à P. Dans ces conditions,  $A = \frac{P}{2P - P} = 1$ .

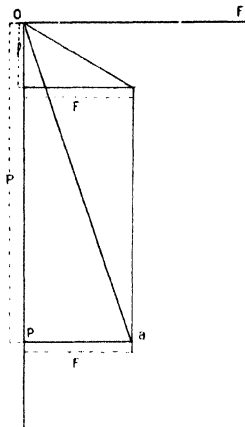


fig. 3

On peut dire alors que tout indice d'ameublissement inférieur à 0,57 correspond à un sol hétérogène en profondeur, c'est-à-dire présentant une surface plus résistante (tassement, croûte due à l'action des pluies, etc.). De même,  $A > 1$  indique l'existence en profondeur d'une couche plus résistante.

L'expression calculée pour l'indice A montre que cet indice est indépendant des échelles employées pour représenter les graphiques et corrélativement du ressort employé pour faire la mesure. Nous avons vérifié cette conséquence et les écarts trouvés entre les indices A obtenus avec 2 ressorts dont l'un se déformait environ deux fois et demie plus que l'autre sous l'action d'une même force ont été de 2%.

On peut aussi calculer directement cet indice à l'aide d'un diagramme travail/profondeur. Il suffit de déterminer la valeur de la résistance pour les derniers chocs. On a, en effet,  $F_x = dT/dx$ .

Nous avons vu que si le sol était meuble  $T = \frac{F_x x}{2}$ . Par conséquent,  $A = \frac{F_x x/2}{T_0}$ ,  $T_0$  étant le travail total fourni à l'appareil pour l'enfoncer à la profondeur  $P^1$ )<sup>2</sup>).

## 2° Calcul de l'indice A d'après divers résultats expérimentaux.

Il était intéressant de voir ce que donnerait l'indice A appliqué aux résultats trouvés dans la littérature. L'ensemble des valeurs ainsi calculées est représenté dans le tableau ci-dessous:

<sup>1</sup>) Les résultats fournis par ce procédé donnent parfois des valeurs de A un peu supérieures à 1. Ceci provient de l'indétermination de F qui est difficile à apprécier exactement, dx étant petit par rapport à dT.

<sup>2</sup>) Le travail T dans le cas d'une sonde pénétrant par pression est mesuré par Sd donc  $S_t/S_d = \frac{F_x/2}{2} = A$ .

*Variation de l'indice A en fonction de diverses propriétés des sols.*

Description du sol	Indice A	Expérimentateurs	Types de sondes
1 — sable de mer . . . . .	0,91	Davies	I B
2 — sable de Fontaine-bleau . . . . .	1	Hénin	I A
3 — sols sableux . . . . .	1	Keen et Cashen	II
4 — sable de dunes . . . . .	1	Volkoff	I B
5 — sols de forêts (horiz. A)	0,84	Hénin	I A
6 — argile du Gault . . . . .	0,53	Davies	I B
7 — sols argileux . . . . .	0,53	Till	II
8 — Tchernoziom lourd . . . . .	0,62	Volkoff	I B
9 { Limon non travaillé . . . . .	0,55 {	Culpin	I A
{ Limon Gyrotillé . . . . .	0,92 {		
10 { Limon non travaillé . . . . .	0,52 {	Hénin	I A
{ Limon bêché . . . . .	0,74 {		

On constate donc que tous les sols sableux qui, par conséquent, n'ont pas tendance à devenir cohérents, ont des indices élevés (n° 1 à 4). Il en est de même des terres riches en matière organique (n° 5). Par contre, les sols lourds ont une structure compacte (n° 6 à 8). Le travail du sol augmente également d'une façon considérable l'indice A (n° 9 et 10).

*Application de l'indice A.*

D'après des conclusions antérieures (4) A doit mesurer le nombre des liaisons existant entre les particules de sols. Or, ces liaisons doivent être particulièrement résistantes quand le sol est sec. Par conséquent, plus l'indice d'ameublissement est bas plus la résistance du sol à la pénétration doit augmenter avec la dessiccation.

Il existe à Versailles une série de parcelles qui reçoivent depuis 8 ans des engrais différents. Nous avons comparé les parcelles recevant du nitrate de soude, du fumier et les parcelles témoins. Les observations effectuées au cours de l'été portent sur 8 séries de mesures, effectuées à diverse humidité. On constate que la résistance à la pénétration décroît proportionnellement à l'humidité.

Les résultats sont consignés dans le tableau suivant:

Nature du traitement	Indice d'ameublissement moyen (Moyenne de l'indice A)	Ecart quadratique moyen de A	Pente de la droite Résistance Humidité
Fumier . . . . .	0,61	0,05	— 1
Témoin . . . . .	0,52	0,04	— 1,86
Nitrate de soude . . . . .	0,45	0,55	— 2

Ces résultats vérifient bien l'hypothèse que nous avons faite, c'est-à-dire que plus l'indice A est élevé et plus le sol reste friable en séchant. D'autre part, nous constatons que l'indice A varie de 10%

par rapport à sa moyenne et au hasard, alors que, dans les mêmes conditions, la résistance à la pénétration a varié de 50% par rapport à sa moyenne, cette variation étant en corrélation avec l'humidité du sol. Le caractère absolu de l'indice A se trouve donc confirmé.

Notons, d'autre part, que les résultats obtenus sur le sol dépendent des conditions climatiques de l'année puisque en 1935 la terre ayant reçu du nitrate de soude donnait un indice A de 0,6, le témoin de 0,67 et le fumier de 0,85.

### *Conclusions.*

Nous avons cherché à montrer dans cet exposé les conclusions que l'on peut tirer de l'emploi des sondes dynamométriques. Le mode de fonctionnement de ces appareils est assez empirique. Néanmoins, nous pensons que les résultats que nous avons exposés sont suffisamment démonstratifs pour retenir l'attention des chercheurs. Il semble en particulier que le caractère absolu de l'indice A soit précieux, puisqu'il permet, ainsi que nous l'avons montré, de comparer les résultats obtenus dans des conditions très différentes, d'humidité, de milieu et de technique.

Cependant, l'indice que nous proposons présente quelques inconvénients. L'hétérogénéité du sol implique une large indétermination des valeurs calculées, ce qui rend la méthode peu sensible. D'autre part, les valeurs calculées sont modifiées par les causes accidentelles susceptibles de provoquer l'hétérogénéité du sol en profondeur. En particulier, on ne peut effectuer de déterminations peu de temps après une chute de pluie, car une humidité excessive de la surface du sol augmente l'indice A. Au contraire, la dessiccation de la surface tend à l'abaisser.

Malgré ces difficultés, il nous semble que l'indice A peut fournir une mesure suffisamment exacte de l'état plus ou moins meuble des sols.

### *Bibliographie.*

- 1<sup>o</sup> *Sourisseau*: C. R. du 2<sup>e</sup> Congrès de Génie Rural, Madrid 1935, p. 157.
- 2<sup>o</sup> *Vincens*: Thèse de Doctorat (Faculté de Nancy) 1925.
- 3<sup>o</sup> *Culpin*: Journal of Agric. Science 1936, t. XXVI, p. 22-45.
- 4<sup>o</sup> *Hénin*: Recherches sur le Sol v. I, 1936.
- 5<sup>o</sup> *Davies*: Journal of the South Eastern Agric. College 1931, n<sup>o</sup> 28.
- 6<sup>o</sup> *Meyenburgh*: voir (12).
- 7<sup>o</sup> *Polikeit*: voir (12):
- 8<sup>o</sup> *Keen et Cashen*: Journal of Agric. Science 1932, t. XXII, p. 126.
- 9<sup>o</sup> *Heath*: Empire Journal of Agric. Sc. 1934, t. II.
- 10<sup>o</sup> *Till*: Fortschritt der Landw. 1931, p. 705.
- 11<sup>o</sup> *Baranio*: C. R. du 2<sup>e</sup> Congrès de Génie Rural, Madrid, 1935, p. 157.
- 12<sup>o</sup> *Volkoff und Podjakonow*: Pedology 1933, p. 68.



## 60. Die Durchlüftbarkeit des Bodens

Von

Prof. Dr. H. Janert, Leipzig, Deutschland.

Für den Ablauf der Lebensvorgänge, der Verwitterungs- und Umsetzungsprozesse, die sich dauernd in jedem Kulturboden vollziehen, ist das Vorhandensein genügender Mengen Luft bzw. Sauerstoff und deren ständige Erneuerung unerlässlich. Da die Voraussetzungen hierfür insbesondere in schweren Böden nicht immer in genügendem Umfang von Natur gegeben sind, gehört es mit zu den Aufgaben des Kulturtechnikers, in solchen Fällen durch geeignete Maßnahmen für eine ausreichende Durchlüftung des Bodens zu sorgen. Dies geschieht häufig auch ohne bestimmte Absicht, weil fast alle kulturtechnischen Maßnahmen irgendwie auch die Bodendurchlüftung beeinflussen, selbst wenn sie unmittelbar einem anderen Zweck dienen sollen. Das gilt z. B. für die Dränung<sup>1)</sup> und Untergrundlockerung, aber auch für alle sonstigen Maßnahmen, durch welche die Struktur oder die Wasserverhältnisse des Bodens verändert werden.

Von verschiedenen Seiten sind bereits Versuche unternommen und Verfahren entwickelt worden, um die Durchlüftung des Bodens zu messen, denn was man messend verfolgen kann, das kann man leichter und zuverlässiger kontrollieren und planmäßig verändern. Die Durchlüftbarkeit selbst, d. h. die Größe der für die Luftbewegung tatsächlich verfügbaren Hohlräume ist aber bisher noch niemals gemessen worden, vielmehr hat man sich stets auf mittelbare Messungen beschränkt. So hat z. B. *Kopeckj*<sup>2)</sup> die Luftkapazität und den Luftgehalt gemessen und daraus Schlüsse auf die Güte der Bodendurchlüftung gezogen. Dieses Verfahren erscheint jedoch nicht sonderlich empfehlenswert, weil der Luftgehalt nur rechnerisch bestimmt wird, während die tatsächliche Zusammensetzung der berechneten Luftmenge sowie die Möglichkeit ihrer Erneuerung, also die eigentliche Bodendurchlüftung nicht ermittelt wird.

Ganz unzulässig ist es, allein aus der Größe des Porenvolumens auf die Durchlüftung schließen zu wollen, was leider sehr häufig geschieht. Von dem gesamten Porenraum kommt, wie unsere Messungen gezeigt haben, nur ein Teil für die Luftbewegung in Frage, und häufig zeigen Böden mit kleinem Porenvolumen eine besonders gute Durchlüftbarkeit und umgekehrt. Lehmboden besitzt in natürlicher Lagerung ein viel größeres Porenvolumen als Sandboden, und

<sup>1)</sup> Vergl. H. Janert. Die Luftströmung in Dränungen. Der Kulturtechniker, 1934, 338.

<sup>2)</sup> J. Kopeckj. Die Bodenuntersuchung zum Zwecke der Drainagearbeiten. Prag 1901.

doch ist seine Durchlüftbarkeit erheblich geringer. Es kommt also weniger auf die Größe des Porenraumes an, als vielmehr auf Form und Dispersitätsgrad<sup>1)</sup> der Poren.

Auf die Versuche mit künstlichen Korngemischen, wie sie von Wollny<sup>2)</sup> und anderen ausgeführt worden sind, soll hier nicht eingegangen werden, weil sie für die praktische Bodenkunde ohne Interesse sind.

Erwähnt sei nur noch das Untersuchungsverfahren von Heinrich,<sup>3)</sup> der den Widerstand bestimmte, den verschiedene Bodenarten

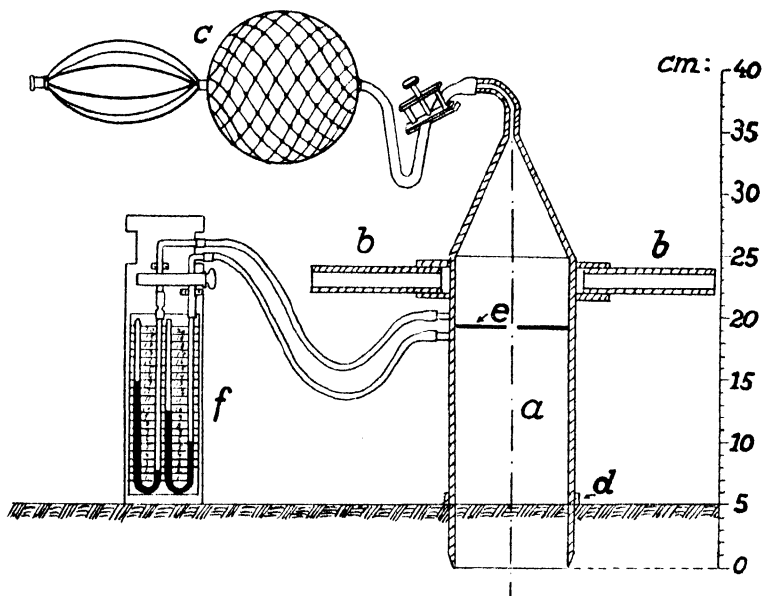


Abb. 1. Apparatur zur Messung der Durchlüftbarkeit des Bodens nach H. Janert.

dem Durchtritt der Luft entgegensetzen. Er hat zwar am gewachsenen Boden gearbeitet, hat aber die natürlichen Verhältnisse doch insofern willkürlich abgeändert, als er den Boden vor der Messung stets völlig mit Wasser durchtränkt hat. Demnach hat er eigentlich gar nicht die Durchlüftung des Bodens gemessen, sondern den Druck, der benötigt wird, um die in den Bodenporen gebildeten Wassermensiken zu zerstören.

Für die Messung der Durchlüftbarkeit des Bodens unter natürlichen Bedingungen ist also auch die Methode von Heinrich nicht brauchbar, und um derartige Messungen durchführen zu können, mußte zunächst ein geeignetes Verfahren und die Meßapparatur dazu neu entwickelt werden.

In Abb. 1 ist die Apparatur dargestellt. Sie besteht aus einem unten angeschrägten Stahlzylinder *a*, der zum leichteren Eintreiben

<sup>1)</sup> Vergl. H. Janert. Neue Methoden z. Best. d. wichtigsten physik. Grundkonstanten d. Bodens. Landw. Jahrb., 66, 1927.

<sup>2)</sup> E. Wollny. Forschungen auf d. Geb. d. Agrikulturphysik, 16, 1893, 198.

<sup>3)</sup> R. Heinrich. Grundlagen z. Beurtlg. d. Ackerkrume. Wismar 1882, p. 222.

in den Boden die Handgriffe *b* besitzt und dessen oberes, konisch verjüngtes Ende an ein kleines Handgebläse *c* angeschlossen ist. Dieser Zylinder wird 5 cm tief, bis zu dem Anschlagring *d* in den Boden gedrückt, dessen Durchlüftbarkeit gemessen werden soll. Sodann wird durch Betätigung des Handgebläses ein schwacher Luftstrom erzeugt, der den Apparat von oben nach unten durchströmt. Diese Luftströmung wird nun an zwei Stellen gestaut, nämlich einmal durch die Blende *e* mit konstanter, genau kalibrierter Blendenöffnung, und weiterhin durch den Boden, der den Apparat unten abschließt und der ebenfalls als Staubblende, jedoch mit unbekannter Blendenöffnung anzusehen ist. Wenn der Boden sehr leicht durchlässig ist, so ist seine Stauwirkung gering, und demzufolge wird die Druckdifferenz, die sich oberhalb und unterhalb der Staubblende *e* einstellt, und die an dem Doppelmanometer / abgelesen werden kann, sehr groß. Umgekehrt staut ein undurchlässiger Boden den Luftstrom vollständig, so daß sich in dem Apparat statische Verhältnisse ausbilden und die Drucke oberhalb und unterhalb der Drosselblende *e* gleich werden. Zwischen diesen beiden Extremen liegen sämtliche möglichen Durchlässigkeitsgrade des Bodens, und die Abmessungen des Apparates und besonders der Staubblende sind so gewählt, daß bei der größten praktisch vorkommenden Durchlässigkeit des Bodens gerade noch ein geringer Druck unterhalb der Drosselblende abgelesen werden kann.

Um die Manometerablesungen auf ein absolutes, bodenkundliches Maß zurückführen zu können, ist der Apparat geeicht worden. Dazu wurde er in seinem unteren Teil nacheinander mit verschiedenen großen Staublenden verschlossen, und mit jeder einzelnen wurden mehrere Druckmessungen ausgeführt. Auf diese Weise ist die in Abb. 2 wiedergegebene Eichtafel entstanden. Auf den Ordinaten sind die am Manometer abgelesenen Drucke oberhalb und unterhalb der Drosselblende aufgetragen, während die vom Nullpunkt ausstrahlenden Linien die Größe der Bodenblende angeben. Bei der Anwendung der Eichtafel auf Messungen am Boden muß man sich alle vorhandenen, zylindrisch gedachten wirksamen Luftkanäle zu einem einzigen Kanal zusammengefaßt vorstellen, dessen Querschnitt in Prozenten der Bodenfläche angegeben wird.<sup>1)</sup>

Die Eichtafel umfaßt Querschnittssummen von 0 bis 0,5%, denn in diesen Grenzen liegen fast ausnahmslos die Hohlraumanteile, welche für die Luftbewegung im Boden zur Verfügung stehen. Die Zahlen sind überraschend niedrig, wenn man berücksichtigt, daß selbst bei theoretisch engster Lagerung des Bodens das Porenvolumen immer noch 24,51% ausmacht. Daß von dem gesamten Porenvolumen scheinbar nur ein sehr geringer Anteil für die Luftbewegung zur Verfügung steht, liegt natürlich an der erwähnten Umrechnung<sup>1)</sup> und daran, daß die Porenräume ganz unregelmäßig gestaltet sind, und die Luftkanäle, soweit man von solchen überhaupt sprechen kann,

<sup>1)</sup> Anmerkung: In dieser Umrechnung liegt ein unvermeidlicher Fehler, weil die größeren Reibungswiderstände in den engen Luftkanälen unberücksichtigt bleiben. Die tatsächliche Querschnittssumme ist natürlich größer, was jedoch unwesentlich ist, weil es allein auf die wirksame Querschnittssumme ankommt, die in ihrem Einfluß auf die Luftbewegung der gemessenen «Bodenblende» entspricht.

keineswegs einen zylindrischen, sondern einen ständig wechselnden Querschnitt aufweisen. Die jeweils engsten Stellen sind dann für die Luftdurchlässigkeit maßgebend.

Die praktische Handhabung des Apparates ist sehr einfach und bequem, da für die einzelne Messung nur wenige Minuten benötigt werden. Man kann die Durchlüftbarkeit sowohl in der oberflächennähe messen, um etwa den Erfolg von Bearbeitungsmassnahmen festzustellen, wie auch in tieferen Bodenschichten, wenn entsprechende Aufgrabungen zur Verfügung stehen. Werden die Messungen der

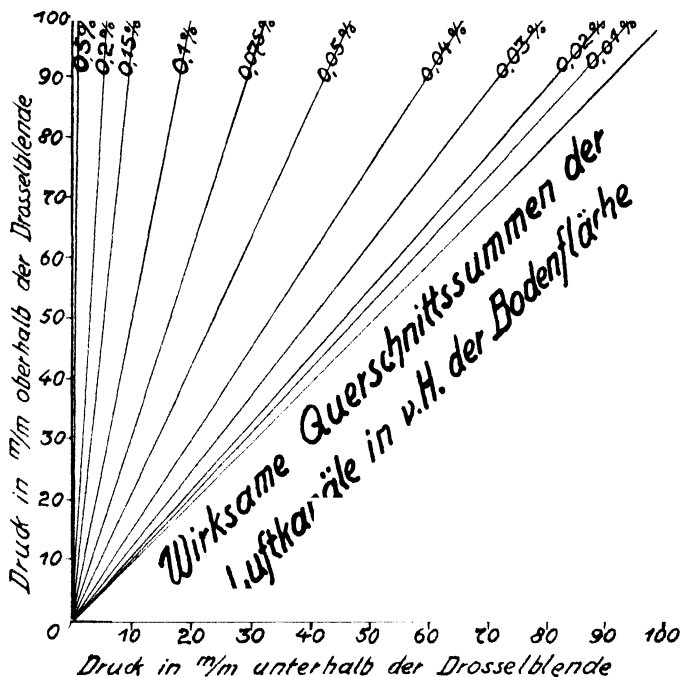


Abb. 2. Eichentafel zur graphischen Ermittlung der Durchlüftbarkeit des Bodens

Durchlüftbarkeit über das ganze Bodenprofil ausgedehnt, so ergibt sich ein geschlossenes Bild von der Lagerungsdichte der verschiedenen Bodenschichten, und es gelingt dadurch, etwaige verdichtete Bodenhorizonte genau festzustellen.

Zur Einarbeitung ist es zweckmäßig, zunächst an solchen Stellen Messungen vorzunehmen, wo grobe Unterschiede in der Durchlüftbarkeit zu erwarten sind, indem man nacheinander z. B. gelockerten und dichten Boden, gewalzten und ungewalzten Boden usw. untersucht. Erst wenn man eine gewisse Sicherheit erlangt hat, kann man daran gehen, auch die feineren Unterschiede in der Durchlüftbarkeit zu erfassen, wie solche überall am Naturboden zu beobachten sind.

Wie alle Messungen am natürlich gelagerten Boden durch die naturgegebene Vielgestaltigkeit der Lagerungsverhältnisse stark beeinflusst werden und diese Vielgestaltigkeit in entsprechenden Schwan-

kungen der Messungsergebnisse widerspiegeln, so werden auch bei der Messung der Durchlüftbarkeit oft auf kleinem Raum beträchtliche Unterschiede gefunden. Es ist daher notwendig, stets wenigstens 4—6 Parallelbestimmungen auszuführen, um durch Mittelbildung zuverlässige Resultate zu erzielen.

Aus der Fülle des bereits vorliegenden Beobachtungsmaterials sind in den Abb. 3—5 einige Serien von Messungen dargestellt, die während der Vegetationsperiode 1936 als Dauerversuche durchgeführt

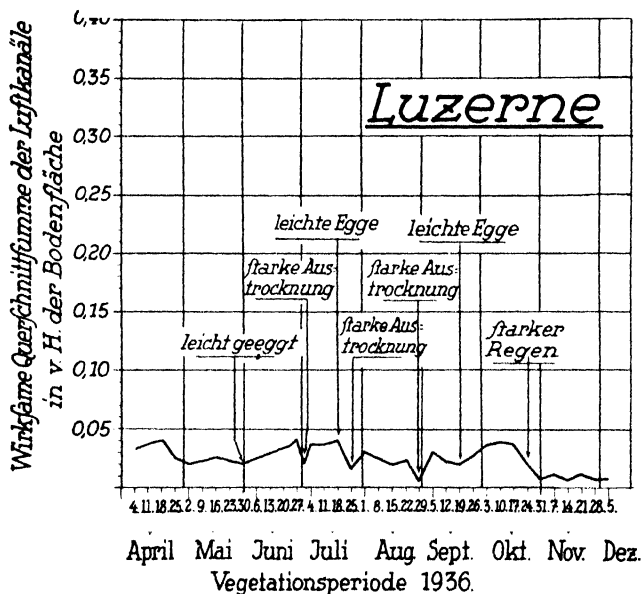


Abb. 3. Durchlüftbarkeit des Bodens in einem Luzernebestand.

worden sind, und die besonders eindrucksvoll zeigen, wie empfindlich der Apparat jede Änderung der Bodenstruktur sowie die verschiedenen Bearbeitungsmaßnahmen registriert.

Der Boden in einem Bestande dreijähriger Luzerne (Abb. 3) ist ziemlich dicht gelagert und zeigt eine nur geringe Durchlüftbarkeit, weil er seit langem nicht gründlich bearbeitet worden ist. Die Bearbeitung mit der leichten Egge hat nur eine sehr geringe Wirkung, weil das Gerät bei dem festen Boden zwischen der Luzernestoppel offenbar kaum hat angreifen können. Auch die klimatischen Einwirkungen auf die Bodenstruktur durch den Wechsel von Niederschlägen und Austrocknung markieren sich nur wenig, sind aber doch ziemlich beträchtlich.

Ganz anders ist das Bild bei Weizen und Roggen (Abb. 4 u. 5). Bis zur Ernte ist auch hier die Durchlüftbarkeit des Bodens nur gering. Aber die gründlichen Bearbeitungsmaßnahmen mit Pflug und Walze (vor Einsaat der Wintergerste) bewirken sehr starke Veränderungen der Luftdurchlässigkeit, und in dem lockeren Boden tritt auch der Einfluß der klimatischen Faktoren deutlicher hervor.

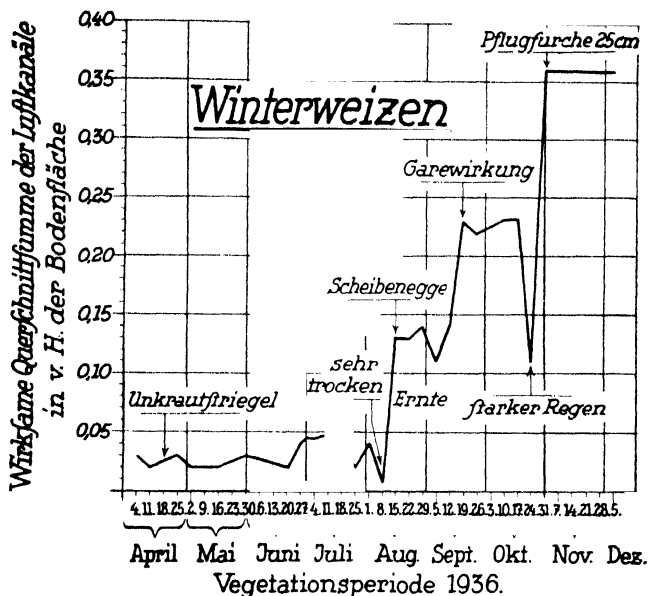


Abb. 4. Durchlüftbarkeit des Bodens in einem Weizenbestand.

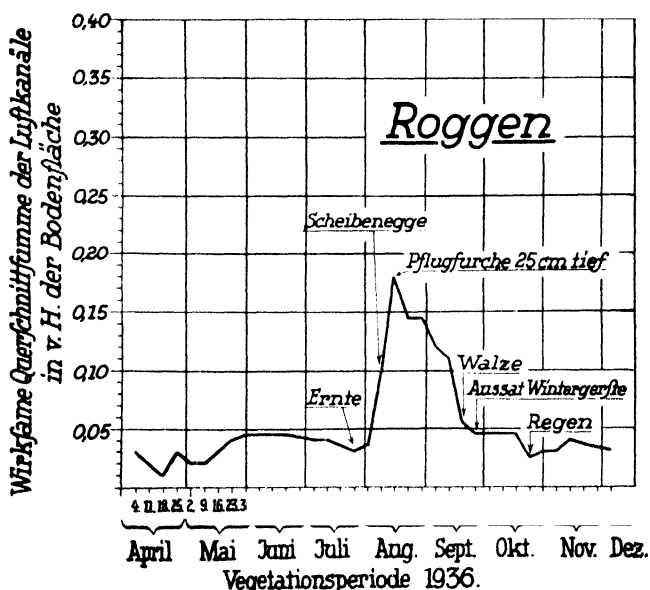


Abb. 5. Durchlüftbarkeit des Bodens in einem Roggenbestand.

Diese Beispiele mögen genügen, die Arbeitsweise und Leistungsfähigkeit des Apparates zu demonstrieren. Weitere Versuchsserien, die noch fortgesetzt werden, sollen demnächst in größerem Rahmen veröffentlicht werden.

# 61. Über die Meliorierung der Alkaliböden unter Irrigationsbedingungen in der UdSSR

Von

*I. N. Antipov-Karataev,*

Moskau, Bodenkundliches Institut der Akademie der Wissenschaften  
der UdSSR.

## I.

§ 1. In der UdSSR werden, nach Angaben des Akademikers *L. I. Prassolow* («Priroda», 4, 1932), folgende Areale von alkalibodenartigen Böden eingenommen:

a) in der Tschernozemzone (hauptsächlich in West-Sibirien) bis 320 000 km<sup>2</sup>;

b) in der Zone kastanienfarbiger Böden in dem europäischen und dem asiatischen Teil der UdSSR bis 600 000 km<sup>2</sup>, d. h. mehr als ein Drittel der von diesen Böden eingenommenen Gesamtfläche;

c) in der Zone der Sjerozems (der Grauböden) --- in Form von Takyren u. dgl. bis 110 000 km<sup>2</sup>.

Aus dieser Gesamtzahl entfallen auf die Komplexe der eigentlichen Alkaliböden im europäischen Teil der UdSSR 76 000 km<sup>2</sup>; in Kazachstan 128 000 km<sup>2</sup>, in dem Gebiet des unteren Wolgalaufs 59 100 km<sup>2</sup> und in Westsibirien 8200 km<sup>2</sup>.

§ 2. In Verbindung mit der von der Sowjetregierung aufgestellten Aufgabe einer Erweiterung der zum Getreidebau bestimmten Areale und der Hebung ihrer Ertragsergiebigkeit, einer Aufgabe, die in den nächsten Jahren gelöst werden muß, gewinnt das Problem der Meliorierung der Alkalibodenmassive in der UdSSR eine besondere Bedeutung. Eine ganze Reihe von wissenschaftlichen Forschungsinstituten beschäftigt sich mit diesem Problem in recht intensiver Weise; es wird sowohl vom Standpunkte der Bedingungen der Irrigationswirtschaft als auch des ohne Irrigation getriebenen Ackerbaus betrachtet. Die wissenschaftliche Forschungs- und Betriebsarbeit wird zur Zeit in zweierlei Richtungen durchgeführt:

a) in der Richtung der Entwicklung theoretischer Grundlagen der Meliorierung der Solontzi (Alkaliböden) und

b) auf dieser Grundlage in der Richtung einer Prüfung und praktischen Anwendung der vorgeschlagenen Methoden der Meliorierung dieser Böden unter den verschiedenen Bedingungen ihrer Entwicklung.

§ 3. Folgende Hauptmomente des Problems wurden von den durchgeführten theoretischen Untersuchungen erfaßt:

a) das Wesen des Solonetzbodenbildungsprozesses;

b) die Genesis und Klassifikation der Solontzi (Alkaliböden);

- c) die geographische Verteilung dieser Böden;
- d) die agrophysiologische Bedeutung der verschiedenen Verhältnisse, die im einzelnen zwischen den Austauschaktionen der Böden und dem verschiedenen Grade ihrer Solonetzhaftigkeit bestehen.

Bei den wissenschaftlich-praktischen Untersuchungen werden die verschiedensten Verfahren der Meliorierung der untersuchten Böden an zahlreichen Versuchsfeldern und mehreren speziellen Beobachtungsstationen in großem Maßstabe angewandt und durchgearbeitet; solche Versuchsanstalten finden sich in verschiedenen Gebieten der UdSSR in der Ukraine, in Kazachstan, in Westsibirien, im fernen Osten und besonders in dem Gebiet des unteren Laufs der Wolga; die Projekte kolossaler Bauten zur Bewässerung der weiten Territorien dieses letzteren Gebiets sind schon auf dem Wege zu ihrer Verwirklichung; zur Zeit aber beobachtet man eine intensive Bewässerung der solonetzhaften Böden durch die Gewässer lokalen Abflusses. In diesem Gebiet arbeiten unter anderen auch zwei Stationen des Bodenkundlichen Instituts der Akademie der Wissenschaften der UdSSR und eine Station des Agro-bodenkundlichen Instituts der Lenin-Akademie für Landwirtschaft.

## II.

### *Theoretische Untersuchungen.*

§ 1. Der verstorbene Akademiker K. K. Gedroiz ist bekanntlich der Begründer der neuesten Theorie über die Natur des Solonetzbodenbildungsprozesses. Laut dieser Theorie ist die Ursache der Entwicklung der Solonetzeigenschaften des Bodens in der Anwesenheit des austauschfähigen Natriums in der Bodenmasse zu suchen. Je nach der Menge dieses in adsorbiertem Zustande vorhandenen Kations (bei Abwesenheit oder unbedeutendem Gehalt freier Elektrolyte in den oberen Horizonten des Bodens) beobachtet man den oder jenen Solonetzhaftigkeitsgrad der Böden. Wenn bestimmte Mengen des austauschfähigen Natriums vorhanden sind, entwickeln sich die für die Solontzi typischen Bodenmerkmale wie z. B.:

- a) die Bildung eines zerpulverten oberen Horizontes;
- b) die Bildung eines unter diesem oberen Horizont lagernden, wasserundurchlässigen, verdichteten Horizontes mit säulenförmiger Struktur, des sogenannten Illuvialhorizontes, der für die Pflanzenentwicklung sehr nachteilig ist und sich durch einen gesteigerten Gehalt an austauschfähigem Natrium und einen hohen pH-Wert des Mediums kennzeichnet;
- c) darunter lagern die salzführenden Horizonte und in einiger Tiefe (verschieden, je nach dem Entwicklungsstadium der Solontzi) findet sich das mehr oder weniger versalzene Grundwasser. Der Solonetzhaftigkeitsgrad des Bodens wird durch den Gehalt an austauschfähigem Natrium in dem verdichteten Illuvialhorizont bedingt.

§ 2. Die Entwicklung der Solontzi (Alkaliböden) ist mit den im Boden früher vorhanden gewesenen Salzverhältnissen verbunden (in den unteren Horizonten der Alkaliböden selbst auch mit den gegen-



wärtigen Salzverhältnissen), in der Hauptsache aber mit dem quantitativen Verhältnis der Natriumsalze einerseits und der Salze der bivalenten Kationen andererseits. Bei der Durchwaschung versalzener Böden (Solontschaks) oder bei ihrer Bewässerung muß hierauf eine besondere Aufmerksamkeit gerichtet werden. Nach Angaben der amerikanischen Forscher (*Kelley*) und einer Reihe von Sowjetforschern (*Rozow, Antipow-Karalaw, Rozanow* u. a.) ruft die Durchwaschung der Solontschaks mit äquivalentem Na: (Ca+Mg)-Verhältnis, das den Wert von 25:75 nicht übersteigt, keine Bildung von Solonetz-eigenschaften hervor, da in diesem Fall die austauschfähigen Kationen des Bodens vorzugsweise durch bivalente Kationen (Koagulatoren) vertreten werden.

In letzter Zeit bildete die Frage nach jenen Na:Ca-Verhältnissen der Bodenlösungen, bei welchen ein vorzüglicher Eintausch des Ca in den Boden stattfindet, das Objekt spezieller Untersuchungen, die im Laboratorium des Bodenkundlichen Instituts der Akademie der Wissenschaften und des Laboratoriums des Instituts für Hydrotechnik und Melioration durchgeführt wurden. Die Resultate dieser Arbeiten, die auf den gegenwärtigen Theorien der Lösungen und den Gesetzen der chemischen Reaktionen (Massenwirkungsgesetz) basierten, erlauben die Grenzen der «gefährlichen» Na:Ca-Verhältnisse in der Lösung, bei verschiedenen allgemeinen Konzentrationen der Elektrolytmischung auf streng mathematischem Wege zu bestimmen. Es erwies sich, im Einklang mit der Theorie, daß diese Grenzen sich je nach den Konzentrationen verschieben.

§ 3. Die Intensität der Solonetzeigenschaften des Bodens wird, wie oben bereits erwähnt, durch die Menge des austauschfähigen Natriums in % der Gesamtsumme aller Austausch-kationen des Illuvialhorizontes des Bodens bedingt.

Da die Frage nach den quantitativen Grenzen der verschiedenen Solonetzhaftigkeitsstufen vom Standpunkte der Praxis aus eine große Bedeutung hat, wurden im Laboratorium des Autors spezielle kolloid-chemische Untersuchungen zwecks ihrer Präzisierung durchgeführt. Auf Grund der dabei erhaltenen Resultate, die mit den Angaben der Beobachtungen in natürlichen Verhältnissen gut übereinstimmen, wurde folgende quantitative Klassifikation der Solonetzböden vorgeschlagen:

a) tschernoziemartige Solontzi — mit einem Gehalt an austauschfähigem Natrium von 30% und mehr in der Summe der absorbierten Basen des Illuvialhorizontes;

b) humusarme Solontzi (kastanienfarbige u. a.) — mit einem Gehalt an austauschfähigem Natrium von 20% und mehr in der Summe der Austauschbasen des gleichen Horizontes;

c) solonetzhafte Böden (stark, mittel und schwach-solonetzhafte):

α) tschernoziemartige — mit einem Na-Gehalt von 3 bis 30% in der Summe der Austauschbasen;

β) kastanienfarbige — mit einem Na-Gehalt von 5 bis 20% in der Summe der absorbierten Basen.

Bei einem Gehalt an austauschfähigem Na kleiner als 3–5% in der Summe der Austausch-kationen werden also solche Böden zu der

Gruppe der nicht solonetzhaften gerechnet. Hieraus folgt, daß bei der Berechnung der Gaben der chemischen Mittel zur Meliorierung der Alkaliböden dieser nichtaktive Teil des adsorptiv gebundenen Natriums (3—5% der Austauschkapazität) nicht berücksichtigt zu werden braucht; bei allen Berechnungen muß man nur von der Menge des aktiven Teils des adsorptiv gebundenen Natriums (über 3—5%) ausgehen, was die Gabe der Meliorationsmittel um ein Beträchtliches verringert.

§ 4. Wenn wir jetzt zur Gruppe der eigentlichen Solontzi (Alkaliböden) übergehen, sehen wir, daß man auf Grund der neuesten geographischen Bodenuntersuchungen, die in der UdSSR in Verbindung mit der Bewässerung dieser Böden durchgeführt wurden, verschiedene Stadien der Entwicklung dieser solonetzhaften Böden unterscheiden kann. Durch die neuesten Arbeiten des Bodenkundlichen Instituts der Akademie der Wissenschaften der UdSSR (von W. A. Kowda, zum Teil von I. N. Antipov-Karatcev), die vorzugsweise im unteren Wolgagebiet durchgeführt wurden, wurden folgende Richtungen und Stadien der Entwicklung der Solontzi festgestellt:

a) Entwicklung der Solontzi unter Bedingungen, bei denen ihr Profil mit dem Grundwasser verbunden ist; dabei wechselt die Entsalzung des Profils periodisch mit Versalzungsprozessen, die durch die saisonmäßigen Aufstiege des Standes des versalzenen Grundwassers bedingt werden; diese Art der Solontzi ist charakteristisch für die alluvialen Delta-Ebenen und -Terrassen — sie wurden solontschakartige Solontzi genannt. Sie weisen die ihnen eigenen Entwicklungsstadien auf, welche in der Zone der Tschernozeme und der dunkelkastanienfarbigen Böden zur Bildung von Soda-Solontzi- und von Solodiböden führen.

b) Entwicklung der Solontzi unter Bedingungen, bei denen ihr Profil von dem Grundwasser bereits getrennt ist (der Grundwasserstand tiefer als 8—10 m). Die Entsalzungsprozesse wiegen hier vor, die Wermutvegetation wird durch eine Grasvegetation ersetzt. Diese Grasvegetation bereichert den Boden mit einer organischen Substanz, die die Solonetzigenschaften des Bodens zerstört — es bilden sich einige Vertreter normaler Steppenböden. Diese Richtung der Evolution der Solontzi bildet den Prozeß ihrer «Versteppung» (Kowda, zum Teil Orlowsky). Es bestehen natürlich auch hier die dieser Bodenvarietät eigentümlichen Entwicklungsstadien, doch ohne das Soda-Stadium und selbstverständlich auch ohne das Stadium der Solodisierung.

c) Entwicklung der Solontzi in der Richtung einer anwachsenden Versalzung oder die Regradationsreihe der Solontzi (Wilensky), deren Intensität durch die Art des Grundwasseranstiegs bedingt wird.

Jedes Stadium der Entwicklung der Solontzi, besonders der Reihe der solontschakartigen Solontzi, wird durch ein ihm eigentümliches Verhältnis von Na, Ca und Mg in der Austauschbasenzusammensetzung, nämlich von einem Na-Gehalt von 20% bis 35% der Austauschkapazität des Illuvialhorizontes auf den ersten Entwicklungsstadien bis zu einem Na-Gehalt von 50% bis 70% in dem gleichen Horizont der Soda-Solontzi, charakterisiert.

In seinem auf dem letzten Kongreß der Bodenkundler in London gehaltenen Vortrag zählt *Kelley* echte Na-Solontzi zur Zahl der magnesiumalen nur aus dem Grund, weil sie weniger austauschfähiges Natrium als austauschfähiges Magnesium enthalten. Wichtig sind hier nicht die absoluten Mengen, sondern die entsprechenden Verhältnisse von austauschfähigem Natrium zu den bivalenten Kationen.

Aus dem in § 4 Dargelegten folgt, daß bei allen Maßnahmen zur Meliorierung der Solontzi ihre Entwicklungsstadien unbedingt berücksichtigt werden müssen.

§ 5. Und endlich die letzte Frage aus dem Gebiete der theoretischen Untersuchungen des Solonetzproblems — die Frage nach der physiologischen Rolle des gegenseitigen Verhältnisses der Austausch-kationen der Solontzi. In der UdSSR wurde diese Frage besonders eingehend von *K. K. Gedroiz* studiert, dann partiell von *A. T. Kirsanow*; in letzter Zeit aber wird sie besonders von *I. Ratner* und *Orlowsky* durchgearbeitet. Der letztere hat bei seinen Topfversuchen festgestellt, daß die Grenze der toxischen Wirkung des austauschfähigen Natriums auf die Kulturpflanzen ziemlich hoch ist: 40% und mehr Na von der Austauschkapazität.

Die Grundursachen der Toxizität bilden die Anlaugung der Bodenlösung infolge der Hydrolyse der mit Natrium gesättigten Kolloidteilchen (Bildung von NaOH und  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) und die Verschiebung des Ca: Na-Verhältnisses der Bodenlösung nach der für Pflanzen ungünstigen Seite. Unter natürlichen Bedingungen (im Felde) tritt die Verschlechterung der physikalischen Eigenschaften des Bodens in den Vordergrund.

§ 6. Auf Grund des Dargelegten kann man folgenden Schluß ziehen: als Grundlage der Meliorierung der Alkaliböden muß die Einführung hauptsächlich bivalenter Kationen (Ca) in den Kolloidkomplex des Bodens anerkannt werden; hierdurch wird eine Koagulation der Bodenmasse, eine Abnahme des pH-Wertes und ein für die Pflanzen normales Kationenverhältnis in der Bodenlösung erzielt. Diese Maßnahme kann durch Gipsdüngung und Kalkung und in dem Fall von karbonathaltigen Solontzi durch Einbringung von Schwefel, von Säuren, von einigen Gasen u. a. m. je nach dem Entwicklungsstadium der Solontzi verwirklicht werden. Die Aussaat von Gräsern, die eine biologische Anhäufung des Kalzium mit gleichzeitiger Anhäufung organischer Stoffe bedingt (*W. R. Williams*), bildet auch eine der wirksamsten Methoden.

§ 7. Da aber die oberen Horizonte der Solontzi oft Pulverstruktur aufweisen und eine zu geringe Menge von Kolloidstoffen zur Bildung einer strukturellen Bodenschicht enthalten, hat der Autor<sup>1)</sup> auf die Möglichkeit der Anwendung der an Kolloidteilchen reichen Masse des Illuvialhorizonts hingewiesen; da, wo es möglich und notwendig

---

<sup>1)</sup> Bei Meliorierung der kastanienfarbigen solonetzhaften Böden wurde dieser Gedanke bereits in der Praxis von *Mojeiko* (Ukraine) verwirklicht.

ist, muß dieser Boden nach oben gebracht und mit dem oberen Horizont vermischt werden. Diese Maßnahme ist besonders in dem Fall der ersten Entwicklungsperiode der Solontzi zu empfehlen (*Kowda*), da sie erlaubt, die karbonat-, kalzium- und manchmal die gipsführenden Horizonte dieser Böden selbst zu ihrer Automeliorierung auszunützen (analog zur Digo-Methode in Ungarn).

In dem Fall von tief-karbonathaltigen Solontzi bewirkt die «Verdünnung» des Solonetzhorizontes durch die nicht-solonetzhafte obere Schicht gleichzeitig eine andere Verteilung des Austauschnatriums; dadurch wird der quantitative Solonetzhaftheitsgrad des Bodens und folglich auch die nötige Gabe der chemischen Meliorierungsmittel (um das 1,5- bis 2fache im Vergleich zu den üblichen ausgerechneten Normen) verringert.

### III.

#### *Untersuchungen unter Bedingungen der wirtschaftlichen Praxis.*

§ 1. Die Versuche über die Meliorierung der Alkaliböden unter Bedingungen der Bewässerungspraxis haben in der UdSSR in den letzten 5—7 Jahren, wie gesagt, einen systematischen, weitgreifenden Charakter erhalten. Durch diese Versuche wurden in der Hauptsache die solontschakhaften und die sich partiell in Steppenböden verwandelnden («versteppenden») Alkaliböden erfaßt.

Die in der Ukraine angestellten Untersuchungen (Landwirtschaftliches Institut in Charkow — Akademiker A. N. *Sokolowsky* und Mitarbeiter; das Ukrainische Institut für Hydrotechnik und Melioration) wurden teilweise auch auf den Soda-Solontzi, hauptsächlich aber auf den mittel- und stark-solonetzhafte kastanienfarbigen Böden durchgeführt; diese Untersuchungen haben gezeigt, daß unter den Bedingungen der Bewässerungswirtschaft bereits in den ersten zwei Versuchsjahren die Gipsdüngung einen positiven Einfluß auf die Böden gehabt hat. Den besten Effekt kann man von einem Komplex von Maßnahmen erwarten, und zwar von tiefem Pflügen, Gipsdüngung, Grassaat und Düngung. Ähnliche Versuche wurden auch im Transwolgagebiet durchgeführt (Ural Versuchsstation — auf kastanienfarbigen solonetzhafte Böden; Waluiki Versuchsstation — Forscher: *Ussow*; Bezentschuk Versuchsstation — Forscher: *Zolnikow*); die hier erhaltenen Ergebnisse der Gipsdüngung und der Kalkung waren ebenfalls günstig. Bei allen diesen Untersuchungen war aber die wissenschaftliche Kontrolle nicht ausreichend oder von zu kurzer Dauer. Diese Versuche, wie auch die Ergebnisse der anderen Untersuchungen (der amerikanischen mit einbegriffen), vermögen noch nicht viele Fragen der Praxis der Alkalibodenmelioration zu lösen. Zur Zahl solcher ungelösten Fragen gehören:

- a) Prinzipien der Gips- und Kalkdosierung;
- b) Geschwindigkeit der gegenseitigen Einwirkung der chemischen Meliorationsmittel und der Bodenmasse; hieraus die Frage nach den für die Auswaschung nötigen Wassergaben;
- c) neue Mittel zur Meliorierung der Alkaliböden;

d) Methoden der Ausnützung der eigenen Hilfsmittel des Bodens (Kolloidvorräte des Illuvialhorizontes, Vorräte an Karbonaten und Sulfaten der die Solontzi unterlagernden Horizonte);

e) Differenzierung der Verfahren der Solontzimelioration in Abhängigkeit vom Entwicklungsstadium dieser Solontzi;

f) einen besonderen Wert legt man bei uns in der UdSSR auf die Ausarbeitung eines Komplexes von Methoden, welche die Bildung einer mächtigen strukturellen Ackerschicht des Bodens sichern könnten: tiefes Pflügen mit Umwenden der Illuvialhorizonte; Einbringen der organischen Substanz von außen oder Aussaat mehrjähriger Grasarten, chemische Melioration, Durchwaschung, Beseitigung der Möglichkeit einer Regradation der Solontzi (Möglichkeit eines Aufstiegs des Grundwassers).

§ 2. Von den eben dargelegten Aufgaben ausgehend, hat das Bodenkundliche Institut der Akademie der Wissenschaften der UdSSR unter Leitung des Autors von 1932 ab eine Reihe stationärer Untersuchungen auf dem Gebiete der Meliorierung der Solontzi bei Bewässerung organisiert. Diese Untersuchungen wurden in den verschiedensten Punkten des unteren Wolgagebiets durchgeführt und waren von sehr kurzer Dauer. Im Jahre 1935 wurden alle Hauptversuche auf der stationären Solonetz-Station konzentriert. Dem Arbeitsprogramm dieser Station wurden alle wissenschaftlichen Grundsätze zugrunde gelegt, die oben erörtert wurden.

§ 3. Da bei diesen Untersuchungen das Hauptaugenmerk auf die wissenschaftliche Kontrolle der Bodenprozesse gerichtet wurde, deren Änderungen das Hauptkriterium für den Aktivitätsgrad der Meliorationsmaßnahmen bildet, haben wir das Bestmögliche getan, um zuverlässige Resultate zu erhalten. Der Variierungsgrad der Eigenschaften der Solontzi (und der anderen Komponenten des Bodenkomplexes) wurde auf den Versuchspartzellen durch zahlreiche Analysen der chemischen und physikalischen Eigenschaften des Bodenprofils festgestellt.

Die für die Verteilung der chemischen Indexe (Humus, Salze, Austauschbasen, Karbonate, Gips) erhaltenen Daten wurden nach den Methoden der Variationsstatistik bearbeitet und die Zahl (n) der für die Sicherung der gewünschten Präzision der Untersuchung nötigen Proben ausgerechnet. Die Dynamik der durch verschiedene angewandte Meliorationsmaßnahmen (Gipsdüngung, Kalkung, Einbringung von Stallmist, Schwefel, Säuren und Ammoniumhumat, Aussaat mehrjähriger Grasarten, tiefes Pflügen, Durchwaschung und Kombination mehrerer aus der Zahl dieser Verfahren) hervorgerufenen Veränderungen der entsprechenden chemischen Eigenschaften des Bodens wurde durch Analysen einer entsprechenden Zahl (n) von Bodenproben (nach den einzelnen Horizonten) oder einer einzigen für jeden Horizont hergestellten Mischprobe kontrolliert.

§ 4. Die erhaltenen Ergebnisse haben uns zu folgenden Schlüssen geführt:

a) Bei unseren Solonetzböden, in deren Illuvialhorizont aus der Zahl der adsorptiv gebundenen Basen das austauschfähige Natrium

in der Menge von 20% der Austauschkapazität vorhanden ist, ist es gelungen, bei tiefem Pflügen mit Umbruch des Illuvialhorizontes sogar ohne vorhergehende chemische Melioration die Salze aus den oberen 80 cm des Bodens mit 5000—6000 m<sup>3</sup> Wasser je ha auszuwaschen.

b) Dies wurde viel leichter erreicht bei Einbringen von Gips in Dosen von nicht mehr als 50% seiner auf austauschfähiges Natrium berechneten Menge.

c) Als Resultat einer einjährigen Einwirkungsfrist dieser Gipsmenge (nach Auswaschungen) nahm die Menge des austauschfähigen Natriums bis zu Werten ab, die für die schwach solonetzhaften kastanienfarbigen Böden charakteristisch sind. Die Wasserdurchlässigkeit des Bodens stieg gegenüber den Kontrollstücken um das 750fache an. Die Makro-Mikrostruktur des Bodens wurde besser. Kurz, der Boden ging sowohl seinen Eigenschaften als auch dem Weizenерtrag nach in die Gruppe der schwachsolonetzhaften (mittelsolonetzhaften) kastanienfarbigen Böden über.

d) Verschiedene lokale Meliorationsmaßnahmen (Einbringung von Stallmist, CaO, Flußschlamm) und spezielle Organomineraldünger (Ammoniumhumat, Ammoniumhumat mit Gips, Humammophoska) haben ebenfalls die Eigenschaften des Solonetzbodens verbessert. Der hier ermittelte Hirseertrag erreichte den Wert des auf bewässerten kastanienfarbigen Böden erhaltenen (ca. 24 dz/ha).

e) Ungefähr 200 Arten und Varietäten mehrjähriger Gräser wurden hinsichtlich der Möglichkeit ihrer Ausnützung zu Zwecken der Meliorierung der Solontzi nach den Komplexmethoden untersucht. Außer den allgemein üblichen Grasarten — Luzerne und Korntrespe — werden neue zur Anwendung empfohlen, und zwar: Permer Kleearten, Raigras (italienisches und englisches), Trespen u. a.

f) Obwohl der Grundwasserstand infolge der Durchwaschung und der Bewässerung etwas anstieg (von der Tiefe von 8—10 m auf 7,75 bis 9,75 m, durchschnittlich um 25 cm), ist dennoch eine Regradation der Solontzi zu Solontschaks nicht erfolgt.

## 62. Ein neuer Volumbohrer

Von

*B. Ramsauer, Wien, Österreich.*

Die bisher vorhandenen bekannten Bohrgeräte zur Entnahme von ungestörten Bodenproben aus Bohrlöchern sind unzulänglich. Der Verfasser hatte daher in Anlehnung an Vorhandenes einen Apparat anfertigen lassen, der nach einigen Versuchen und Verbesserungen nunmehr, wie die Erprobung in verschiedenen Bodenarten zeigte, entsprechende Ergebnisse liefert.

Bei der Konstruktion des Bohrers ist der Verfasser von folgenden Voraussetzungen ausgegangen:

1. Das Füllen des Stechzylinders soll nur durch gleichmäßiges Eindringen in den Boden erfolgen. Dies wird am leichtesten dann erreicht, wenn der Zylinder in eine freie Bodenoberfläche eingedrückt wird, die größer ist als sein Durchmesser.

2. Die Stechzylinderhöhe soll 5 cm nicht überschreiten, da jede größere Höhe das Eintreiben wesentlich erschwert und zu Pressungen bzw. Lagerungsstörungen im Boden führt.

3. Die Stechzylinderprobe muß so genommen werden, daß sie beidseitig über den Zylinderrand vorragt, um zumindest nach dem Augenschein an Ort und Stelle beurteilen zu können, ob sie ungestört entnommen ist. Ein zu tiefes Eintreiben ist jedoch durch entsprechende Vorkehrungen hintanzuhalten.

4. Jede Probe muß ohne weitere Behandlung, also unter Belassung im Entnahmezylinder, den Laboratoriumsuntersuchungen unterworfen werden können.

5. Mit der Raumprobe muß auch eine Materialprobe aus derselben Tiefe entnommen werden.

Der Volum- oder Raumbohrer besteht aus mehreren Bohrstücken:

1. Materialbohrer,
2. Raumbohrer,
3. Fangbohrer.

Der Materialbohrer ist ein Erdborher beliebiger Art: Tellerbohrer, Schneckenbohrer, Schappe; Beschreibung erübrigt sich. Zweckmäßigerweise verwendet man jedoch einen Bohrer, der die Bohrlochsohle möglichst eben herausarbeitet. Der Verfasser hat mit dem «Rapidbohrer», bezogen von der «Tiefbohr AG. vorm. Trauzlwerke», Wien, die besten Erfahrungen gemacht. Sein Durchmesser muß mindestens dem des Fangbohrers gleich sein.

Der Raumborher besteht aus dem *Stechzylinder* und dem *Aufsatzstück* (Abb. 1 und 2). Der Stechzylinder ist ein möglichst aus nicht rostenden Stahlrohren geschnittener Zylinder von etwa 1—2 mm Wandstärke, der zum leichteren Eindringen in den Boden unten zu einer Schneide zuge- schärft ist. Höhe und Durchmesser können verschieden sein. Das Aufsatzstück ist ein an das Materialbohrrer- ge- stänge mittels eines



Abb. 1

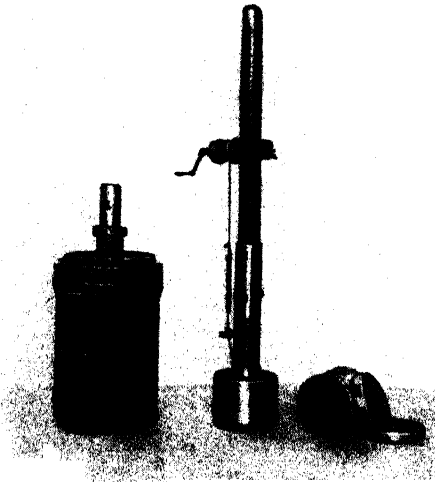


Abb. 2

Zapfens anschließbarer Metallaufsatz, der genau auf den Stechzylinder paßt und diesen durch eine in der Aufsatzwand versenkt befestigte Feder so fest hält, daß ein Herausfallen des Zylinders während des Einführens in das Bohrloch verhindert wird. Nach dem Eindringen des Zylinders in den Boden läßt sich der Aufsatz leicht vom Zylinder abheben. Um dies ohne Störung der Boden- probe zu ermöglichen, sitzt der Stechzylinder nur auf einer schmalen Leiste von etwa 3 mm Höhe auf. Da- hinter ist der Aufsatzinnen- durchmesser um 2 mm größer gehalten, so daß der Boden- zylinder frei in das Aufsatz- stück hineinragt. Um ein ungenügendes oder auch ein zu tiefes Eindringen des Stechzylinders zu vermeiden, ist ein Teller vorhanden, des- sen Schaft so in einer Boh- rung des Aufsatzzapfens fest- gehalten wird, daß er nach oben durchgeschoben werden kann. Durch eine zwischen Teller und innerer Aufsatzdecke eingespannte leichte Spiralfeder wird der Teller 2 cm über dem Zylinderrand festgehalten. (Diese Entfernung hat sich bei Verwendung des Rapidbohrers als zweckmäßig erwiesen. Sie ist für jeden anderen Materialbohrer be- sonders zu bestimmen!) Beim Eindringen des Bohrers steigt die Erde bis zum Teller auf und schiebt diesen bei weiterem Eindringen in die Höhe. In diesem Augenblick löst sich ein in einer Kerbe des Teller- schaftes verhängter Vorstecker aus, der durch eine gespannte Rebschnur



aus der Bohrung gezogen wird. Die Rebschnur wird mittels einer am Gestänge befestigten und leicht bedienbaren Spannrolle gespannt (s. Abb. 2). Die Entspannung der Rebschnur ist das Zeichen für die ausreichende Füllung des Zylinders und damit für das Einstellen des Eindrückens.

Der Fangbohrer (Bild 1 und 2) hat die Aufgabe, den Stechzylinder und den ihn umgebenden Boden hochzubringen. Er besteht aus zwei Teilen: dem Zylinder und der Abschlußkappe mit dem Gestängezapfen. Der Zylinder aus Stahlblech hat einen Durchmesser und der Höhe des verwendeten Raumbohrers entsprechende Weite und Höhe und 3 mm Wandstärke; sein unterer Rand ist zur Erleichterung des Einschneidens gezähnt. Einem Stechzylinder z. B. von 7 cm lichtem Durchmesser und 5 cm Höhe entspricht ein Fangbohrer von 12,8 cm lichtem Durchmesser und etwa 20 cm Höhe. Zur Erleichterung des Bohrens wie als Halt für den Inhalt sind in der Innenwand des Zylinders drei gegeneinander versetzte, jeweils von einem Zahn ausgehende Schraubengänge angebracht, die etwa 11° Ganghöhe haben! Der Zylinder ist durch Bajonettverschluß mit der Abschlußkappe verbunden. Diese Anordnung ermöglicht, insbesondere bei Verwendung einer Rohrzange, das leichte Abheben des Zylinders von der Abschlußkappe. Aus dem Zylinder selbst ist dann die Entnahme des gefüllten Stechzylinders und des Vergleichsmaterials leicht möglich; der Inhalt wird mit einem Stößel von der Zahnseite aus vorsichtig herausgedrückt.

Auf der durchlöcherten Abschlußkappe ruht eine am Gestängezapfen bewegliche Ventilplatte. Beim Einführen bzw. Hochziehen des Fangbohrers in Bohrlöchern mit Grundwasser wird die Platte vom Wasser hochgedrückt bzw. an die Kappe angepreßt, so daß der Wasserdurchgang durch den Bohrer wohl beim Einführen, nicht aber beim Hochziehen möglich ist. Ohne diese Vorrichtung könnte der im Fangbohrer befindliche Stechzylinder nicht hochgezogen werden, da er durch den Wasserdruck aus diesem herausgepreßt werden würde.

Bei der Bohrarbeit wird nun dieser Bohrer je nach der Bindigkeit des Bodens etwa 5—10 cm unter den Stechzylinder niedergebracht, dann ohne Drehung langsam aus dem Bohrloch gehoben und der Bohrer wie oben beschrieben entleert. Damit ist an einer Stelle die Raumprobe einschließlich der Vergleichsprobe entnommen worden.

Um das senkrechte Einbringen sowohl des Raumbohrers als des Fangbohrers im Bohrlochmittel sicherzustellen, sind am unteren Ende des unmittelbar mit den Bohrern in Verbindung stehenden Gestängestückes sowie ungefähr in der Mitte der Bohrtiefe — bei größeren Tiefen auch in kürzeren Abschnitten — *Führungsringe* einzuschalten. Dies sind wulstartig geformte Stahlblechringe, deren größter Durchmesser genau der Bohrlochweite entspricht. Mit einer Flügelschraube werden sie am Gestänge befestigt. Die Zusammenfassung von Raum- und Fangbohrer in ein Gerät wäre möglich.

### *Durchführung der Bohrung.*

Die Bohrung geht nun folgendermaßen vor sich: An einer abzubohrenden Stelle wird zunächst mit einem Materialbohrer geringeren Durchmessers (8 cm!) eine Sondierbohrung zu dem Zwecke durchge-

führt, die Bodenbeschaffenheit im allgemeinen und jene Stellen im besonderen festzulegen, an denen Raumproben entnommen werden sollen. — Man geht dabei, um Tiefenfehler zu vermeiden, so vor, daß nach Ausheben der ersten Dezimeter am Rande des Bohrloches kleine Pflöcke so eingeschlagen werden, daß ein auf sie aufgelegtes Brettchen, das an das Gestänge anfüßt, in der Höhe der Bodenoberfläche waagrecht liegt. Nun wird abgebohrt, dann die Höhe des jeweils über dem Brettchen befindlichen Gestängestoßes von diesem aus eingemessen und durch Zurückrechnen die Bohrtiefe bestimmt. Zu der jeweils festgelegten Bodenart werden im Aufnahmsbuch die einzelnen Bohrtiefen so lange angeschrieben, bis eine andere Bodenschicht erreicht ist. Die Grenztiefe wird dann in größeren Ziffern angeschrieben und unterstrichen.

Nach Klarstellung des Bodenprofils bis zur erforderlichen Tiefe erfolgt die Hauptbohrung.

Mit dem Materialbohrer wird das Bohrloch unter Entnahme von Probematerial bis zu jener Stelle ausgehoben, an der die erste Raumprobe entnommen werden soll. Dann erfolgt mit dem Raumbohrer, der an Stelle des Materialbohrers an das Gestänge anzuschließen ist, die Einbringung des Stechzylinders, der schließlich mit dem Fangbohrer hochgeholt wird.

Dieser Vorgang wird bis zur vorgeschriebenen Bohrtiefe fortgesetzt.

## 63. Mechanical Analysis of some United Provinces Soils by Puri's Hydrometer Method

By

*B. K. Mukerji*, Agricultural Chemist to Government  
and *A. N. Misra*, Research Assistant, U. P. Cawnpore, India.

The investigations recorded in this paper were undertaken with a view to ascertaining the suitability of adopting the new type of hydrometer devised by *Puri* (3) for the mechanical analysis of the soils in these Provinces.

A hydrometer method depending on the variations of the density in a sedimenting column was first developed by *Bouyoucos* (1). But as shown by *Bouyoucos* himself and *Keen* the obvious drawback of that method is that results obtained by it do not agree with those obtained by the well known standard methods of mechanical analysis. In order to obviate this difficulty *Puri* devised a modified form of the hydrometer which is claimed by him to yield very satisfactory results.

In view of the comparative simplicity of the technique, it was at the present instance considered worth while exploring the possibilities of using the hydrometer method for the mechanical analysis of soils on an extensive scale.

### *Experimental.*

The scheme of the experimental work carried out in this laboratory mainly consisted of a comparison being made between the results obtained by the international pipette method and *Puri's* hydrometer method. The soils were subjected to the same preliminary treatment as suggested by *Puri* (10c. cit.).

Like the pipette method the hydrometer method proposed by *Puri* also expresses the mechanical composition of the soil in the form of a continuous curve. The pipette method is based on variations in the settling velocities of particles of different sizes; whereas, the hydrometer method depends on the variations of the density in a sedimenting column.

Twenty representative soils from the United Provinces were used for the purpose. Considerable difficulty was at first experienced in securing the right kind of hydrometer, especially on account of the unusually long stem which caused appreciable tilting to one side of the cylinder. This difficulty was finally overcome by adjusting carefully the diameter and weight of the bulb in relation to those of the stem. The hydrometer was calibrated with the help of a soil of known mechanical composition.

Mechanical analysis of soils by the hydrometer as well as the pipette method

Sl. No.	Laboratory No.	Description of soil	Method	Fine sand % (0.2-0.02 mm. dia.)	Silt + Clay %	Clay % (less than 0.002 dia.)
1	3175	Composite soil sample, Govt. Farm, Etawah	Pipette Hydrometer	61.5 54.9	41.2 44.5	18.1 10.0
2	3572	Composite soil sample, Field No. 15, Govt. Research Farm, Cawnpore	Pipette Hydrometer	59.3 54.8	32.6 44.8	14.4 16.5
3	3590	Soil sample I, Cane Research Station, Muzaffarnagar	Pipette Hydrometer	56.0 58.9	33.7 34.8	14.3 11.0
4	3591	Soil sample II, Cane Research Station, Muzaffarnagar	Pipette Hydrometer	58.4 59.6	33.4 34.8	13.2 16.5
5	3592	Soil sample III, Cane Research Station, Muzaffarnagar	Pipette Hydrometer	57.7 50.7	31.4 43.4	13.2 13.5
6	3593	Soil sample IV, Cane Research Station, Muzaffarnagar	Pipette Hydrometer	56.8 56.2	33.6 38.0	13.7 15.8
7	3615	Composite soil sample, Govt. Seed Farm, Kalyanpur	Pipette Hydrometer	64.3 55.7	32.8 43.8	11.4 14.0
8	3638	Usar soil, Field No. 48, Research Farm, Cawnpore (0''-6'' depth)	Pipette Hydrometer	61.0 46.9	35.5 52.5	10.7 16.8
9	3628	Usar soil, Field No. 48, Research Farm, Cawnpore (6''-12'' depth)	Pipette Hydrometer	68.5 54.4	14.1 45.5	4.9 18.0
10	3629	Usar soil, Field No. 48, Research Farm Cawnpore (12''-18'' depth)	Pipette Hydrometer	76.8 62.5	37.4 37.4	2.8 3.2
11	3630	Usar soil, Field No. 48, Research Farm, Cawnpore (18''-24'' depth)	Pipette Hydrometer	78.1 85.2	9.6 14.7	2.4 7.5
12	3639	Usar soil (surface) Field No. 50, Govt. Research Farm, Cawnpore	Pipette Hydrometer	66.1 50.4	28.3 47.5	6.3 17.4
13	3640	Usar soil (surface) Field No. 53, Govt. Research Farm, Cawnpore	Pipette Hydrometer	64.9 59.7	19.6 39.5	5.3 7.4
14	3719	Composite soil sample, Field No. 38, H. E. the Viceroy's (Body Guard) Farm, Dehra Dun	Pipette Hydrometer	32.2 36.8	44.9 43.2	16.1 10.0
15	3720	Composite soil sample, Field No. 55, H. E. the Viceroy's (Body Guard) Farm, Dehra Dun	Pipette Hydrometer	40.3 39.3	41.6 36.5	18.8 13.7
16	3721	Composite soil sample, Field No. 78, H. E. the Viceroy's (Body Guard) Farm, Dehra Dun	Pipette Hydrometer	38.6 34.4	33.4 42.0	12.5 7.8
17	3757	Soil sample (0''-12'') Govt. Farm Raya-Muttra	Pipette Hydrometer	68.0 64.0	28.3 35.0	11.4 14.0
18	3758	Organic profile soil, Govt. Fruit Research Station, Chaubattia, Ranikhet	Pipette Hydrometer	27.5 32.5	62.5 62.5	21.7 3.0
19	3761	Surface soil sample (0''-6'') Govt. Farm, Nawabganj, Bareilly	Pipette Hydrometer	14.8 27.9	77.9 70.0	28.0 34.0

Table 1

The experimental results are detailed in Table 1.

These results do not show a good agreement between the pipette and the hydrometer method. With regard to fine sand there is a serious discrepancy between the figures obtained by the two methods, especially in the case of Usar or alkaline soils (pH 8.0—8.8). In the case of «Silt + Clay» also the agreement between the results obtained by the two methods is far from satisfactory.

For very coarse fractions in certain soils *Puri* also noted some disagreement. The discrepancies noted above are undoubtedly due partly to the fact that some disturbance in the settling particles is inevitable owing to the presence of the hydrometer, and partly to the error caused on account of the settling of the particles on the hydrometer itself. The reliability of the pipette method can, however, very well be questioned when dealing with the coarser particles of the soil, since the time taken up in actually pipetting out a sample is large as compared to the settling velocity of the particles. Again, the refractory soils are an admitted difficulty when the pipette method is used. With such soils, it is now known that the pipette method is at a disadvantage compared with older sedimentation methods.

A comparison of the results obtained by the two methods with regard to one important constituent of the soil, namely, the clay reveals a very marked discrepancy in the majority of the soils. It may, therefore, *a priori* be concluded that as far as these soils are concerned the hydrometer method lacks in precision in comparison with the pipette method.

From these investigations it is clear that *Puri's* hydrometer method of mechanical analysis of soils does not yield accurate results as compared with the international pipette method.

The hydrometer method is, however, very simple to follow, and takes only about one-third the time usually required by the more elaborate pipette method. Whatever be the advantages, for accurate determinations this new method does not in its present form promise to be fruitful.

#### *Summary.*

The mechanical analysis of some representative types of soils from the United Provinces was carried out by the new hydrometer method devised by *Puri*, and also for the sake of comparison, by the standard international pipette method. The agreement between the results obtained by the two methods is not satisfactory. It is, therefore, concluded that at least for accurate determinations *Puri's* hydrometer method in its present form is not suitable.

#### *References.*

1. *Bouyoucos, G. J.* 1927: The hydrometer as a new method for the mechanical analysis of soils. *Soil Sci.* 23; 343—350.  
1928: Making mechanical analyses of soils in fifteen minutes. *Soil Sci.* 25; 473—480.  
1928: The hydrometer for making a very detailed mechanical analysis of soils. *Soil Sci.* 26; 233—238.
2. *Keen, B. A.* 1928: Some comments on the hydrometer method for studying soils. *Soil Sci.* 26; 261—263.
3. *Puri, A. N.* 1932: A new type of hydrometer for the mechanical analysis of soils. *Soil Sci.* 33; 241—248.

**NIEDERSCHRIFTEN**

**COMPTE-RENDU ANALYTIQUE DES  
DÉLIBÉRATIONS**

**MINUTES OF THE MEETINGS**



**Ansprache des Präsidenten der 6. Kommission**  
**Oberbaurat Otto Fauser**  
**bei der Kranzniederlegung auf dem Grabe von**  
**Oberst J. Girsberger**

am 1. August 1937.

Verehrte Anwesende! Morgen beginnt die dritte Tagung der Internationalen Kommission für die Anwendung der Bodenkunde auf die Kulturtechnik hier in Zürich, der Stadt, in der der erste Präsident der Kommission, Herr Kulturoberingenieur Oberst *Johannes Girsberger*, gewirkt und seine letzte Ruhestätte gefunden hat. Da ist es denn nicht nur eine selbstverständliche Ehrenpflicht, sondern auch ein wahres Herzensbedürfnis für die Mitglieder der Kommission gewesen, sich aus diesem Anlaß am Grabe ihres hochverehrten Präsidenten zu versammeln und der großen Verdienste in Dankbarkeit zu gedenken, die er sich um die 6. Kommission erworben hat.

Herr Oberst *Girsberger* ist es gewesen, der auf der außerordentlichen internationalen bodenkundlichen Konferenz in Prag im Jahre 1922 die große Bedeutung hervorgehoben hat, die die bodenkundliche Wissenschaft für die Kulturtechnik besitzt, und der energisch für die Gründung einer besonderen internationalen Kommission für die Anwendung der Bodenkunde auf die Kulturtechnik eingetreten ist. Er wurde dort mit der Bildung der Kommission betraut und auf dem Vierten Internationalen Bodenkundlichen Kongreß in Rom im Jahre 1924 zu ihrem Präsidenten gewählt.

Herr Oberst *Girsberger* hat es dank seinem hervorragenden Organisationstalent und seinem tiefen Verständnis für die Bedürfnisse der praktischen Kulturtechnik verstanden, die Arbeiten der Kommission auf die rechten Wege zu lenken. Er hat das Präsidium der Kommission fünf Jahre lang mit der größten Hingebung verwaltet, bis ihn im Sommer 1929 schwere Krankheit zwang, sein Amt niederzulegen.

Der Name *Girsberger* wird in der Geschichte der Internationalen Bodenkundlichen Gesellschaft und ihrer 6. Kommission stets einen Ehrenplatz einnehmen.

Als Zeichen unseres dankbaren Gedenkens lege ich diesen Lorbeer an seinem Grabe nieder.



## Eröffnungssitzung

Montag, den 2. August 1937, 9 Uhr 30 Minuten.

Vorsitzender: *Diserens*.

Prof. *E. Diserens*,

Vorsitzender des Schweizerischen Vorbereitungsausschusses.

Mesdames, Messieurs,

Avant l'ouverture officielle de la Conférence, j'ai l'honneur et l'agréable devoir, au nom de la commission chargée de l'organisation, de souhaiter une très cordiale bienvenue à Messieurs les Délégués étrangers. La présence d'un nombre aussi élevé de participants venus de la plupart des pays d'Europe et de pays plus éloignés est un témoignage éloquent de l'intérêt qui s'attache aux travaux de l'Association Internationale de la Science du Sol et plus particulièrement à ceux de la 6<sup>e</sup> Commission.

La participation de représentants qualifiés des instituts de recherches spécialisés dans la technique des travaux du génie rural, comme le nombre des travaux présentés sont une preuve manifeste que pareilles conférences correspondent à un besoin véritable. On en trouve du reste la démonstration éloquent dans les publications parues par les soins de la 6<sup>e</sup> Commission.

Les membres suisses de l'Association de la Science du Sol sont peu nombreux. Il est compréhensible qu'ils aient hésité, au début d'accepter la tâche de préparer la conférence. Il a fallu tout l'optimisme du Président de la Commission, M. *O. Fauser*, ainsi que les encouragements de M. le Dr. *Hissink*, Président adjoint de l'Association Internationale de la Science du Sol, comme ceux de M. le Prof. Dr. *Schucht*, Président en charge de l'Association, pour décider que la conférence tiendra ses réunions dans notre pays.

La conférence a été préparée avec la simplicité correspondant aux traditions helvétiques. Nous vous demandons d'être indulgents pour certains côtés matériels de l'organisation.

L'Association des ingénieurs ruraux suisses qui a accordé son patronage à cette manifestation a décidé le succès de celle-ci. Comme l'indique le guide des excursions, plusieurs des cantons qui composent la Confédération helvétique ont rivalisé de zèle et d'initiative pour montrer aux délégués étrangers les applications de la technique agricole à l'œuvre de l'amélioration et la mise en culture de notre sol.

Cette branche de la technique revêt une importance spéciale pour l'économie nationale suisse étant donné l'exiguïté de notre territoire et la surface extrêmement restreinte des terrains cultivables. Ces conditions justifient l'appui donné par la Confédération et les cantons à tout ce qui concerne l'amélioration du sol.

Je salue la présence du Recteur de l'Ecole polytechnique fédérale, M. le Professeur Dr. *Bäschlin*, et le remercie pour le discours qu'il va adresser tout à l'heure à l'assemblée.

Notre reconnaissance va également au Président du Conseil de l'Ecole polytechnique, M. le Prof. Dr. *Rohn*, pour les encouragements qu'il n'a cessé de prodiguer aux promoteurs de ce congrès.

Sur douze divisions qui composent cette haute Ecole trois de celles-ci sont consacrées à la production du sol. Ce sont dans l'ordre d'ancienneté les divisions forestières, d'agriculture, puis du Génie rural et de topographie. Cette dernière Ecole a été créée en 1888. Elle a eu pour professeur principal l'ingénieur *Caspar Zwickly*, qui a exercé pendant 45 années une activité extrêmement féconde. C'est en effet grâce à l'Ecole du Génie rural et aux ingénieurs qui en sont sortis que la technique agricole a pu se développer d'une façon relativement intense depuis plus d'un demi-siècle dans notre pays.

Je salue la présence du premier délégué de l'autorité fédérale, M. l'ingénieur *Strüby*, Chef de Section pour l'amélioration du sol. Je le prie d'être notre interprète auprès de l'autorité fédérale pour remercier celle-ci de l'appui moral et matériel accordé à ce congrès. Nous savons tous en Suisse le dévouement dont fait preuve M. *Strüby* depuis un quart de siècle et avons suivi avec beaucoup d'intérêt le développement de la section qu'il dirige avec compétence.

Je salue les représentants du Canton de Zurich et de la Ville, des associations techniques et agricoles, ainsi que ceux des établissements scientifiques de recherches et d'analyses. Je salue également les membres du Corps enseignant de notre Ecole qui ont bien voulu s'intéresser à nos travaux.

J'ai aussi pour tâche de vous saluer au nom de la Commission internationale du Génie rural. Cet organe de coordination et d'encouragement des travaux du Génie rural dans les divers pays est heureux de constater l'activité de la 6<sup>e</sup> Commission de la Science du Sol. Nous pouvons assurer que ces deux organismes travaillent dans un esprit d'émulation et sans double emploi.

Meine verehrten Damen und Herren!

Die Behandlung des Inhaltes der eingereichten Vorträge wird bald Ihre ganze Aufmerksamkeit in Anspruch nehmen. Die vorgesehenen Exkursionen werden eine willkommene Gelegenheit bieten, die Anwendung von Technik und Wissenschaft in der Praxis zu sehen. Sie werden die Vielseitigkeit der natürlichen Bedingungen unseres Landes, die Bodenarten und Bodenformationen, das Klima und die Wechselbeziehungen mit den kulturtechnischen Arbeiten bald erkennen. Die beschränkte Zeit gestattet mir nicht, auf diese Beziehungen auch kurz einzutreten. Ich hoffe, daß dieser Kongreß eine wichtige Bereicherung der Kenntnisse auf dem Gebiete der Kulturtechnik bringen wird, und daß diese Erkenntnisse sich zum Nutzen der Praxis auswirken werden. Ich wünsche, daß die Teilnehmer nähere Bekanntschaft miteinander sowie mit diesem Lande machen, und hoffe, daß alle mit guten Eindrücken und Erinnerungen nach Hause zurückkehren werden.

A. Strüby, Eidgenössischer Chef-Kulturingenieur,  
Vertreter des Schweizerischen Bundesrates.

Sehr geehrte Damen und Herren!

Zur Eröffnung der Verhandlungen der 6. Kommission der Internationalen Bodenkundlichen Gesellschaft habe ich die Ehre, Ihnen den Gruß des Schweizerischen Bundesrates zu überbringen und Sie in unserm Lande herzlich willkommen zu heißen.

Vor allem gilt dieser Willkommengruß allen ausländischen Gästen.

Die 6. Kommission der Internationalen Bodenkundlichen Gesellschaft befaßt sich mit der Anwendung der Bodenkunde auf die Kulturtechnik. An ihrer Tagung nehmen die hervorragendsten Vertreter der Bodenkunde und Kulturtechnik teil, Vertreter der Wissenschaft und der Praxis, Vertreter der verschiedensten Völker und Länder.

Wir sind stolz, all diese Gäste in den Gemarkungen unseres Landes für einige Tage beherbergen zu dürfen. Unsere schweizerische Eidgenossenschaft will als freie Nation mit allen andern Staaten Beziehungen des aufrichtigen Friedens und der wahren Freundschaft unterhalten. Wir wollen auf allen Gebieten mitarbeiten zur Hebung der allgemeinen Volkswohlfahrt und gegenseitigen Verständigung. Als freundnachbarliche Äußerung erlaube ich mir, Sie, verehrte Gäste, in unsern drei Landessprachen zu begrüßen.

Ihre Tagung ist für unser kleines Land von besonderer Bedeutung. Wir sind arm an Bodenschätzen, dafür um so reicher an Naturschönheiten. Wir freuen uns, anläßlich der Exkursionen Ihnen einen Teil dieser Naturschönheiten zeigen zu dürfen.

Als Vertreter der Bodenkunde und der Kulturtechnik werden Sie sehen, wie verschiedenartig die Boden- und Klimaverhältnisse sind. Wohl kann die Schweiz in drei markante, zum Teil charakteristische Gebiete eingeteilt werden, nämlich: den Jura, das Mittelland und das Alpengebiet. Aber auch in diesen Gebieten findet man häufig auf engstem Raum die größte Mannigfaltigkeit, die heterogensten Böden und ganz verschiedenartige Klimatas.

Im Alpengebiet wechseln die pedologischen Verhältnisse häufig von Tal zu Tal, ja selbst in einzelnen Tälern finden wir ein wahres Mosaik von verschiedenen Bodenarten. In unserem südlichen Landesteil, im Wallis, Tessin und Bündnerland, kann man auf kurzen Horizontaldistanzen von nur etwa 20 km aus den tiefliegenden Gebieten mit unerträglicher Sommerhitze und einer Subtropenvegetation in die höchsten europäischen Bergeshöhen mit den ewigen Schnee- und Eisgebieten steigen. Flora und Fauna ändern sich kaleidoskopartig und leben auf diesen sehr verschiedenartigen Böden. Selbst auf den Menschen übt die Mannigfaltigkeit der Böden einen ganz mächtigen Einfluß aus.

Und was sieht das geistige Auge des Wissenschaftlers und Fachmannes? Das Rätsel der Weltentstehung, der geologischen und pedologischen Veränderung. Sein Streben ist, das Wunder Natur zu erkennen und zu erklären, und eines dieser Wunder ist der Boden. Er ist für alle Lebewesen Lebensvoraussetzung. Er trägt, ernährt und kleidet. Man darf es daher füglich als ein göttliches Ziel bezeichnen, den Boden richtig kennen und verstehen zu lernen und die Anwendung der Boden-

kunde als eine der vornehmsten wissenschaftlichen Aufgaben der Menschheit bezeichnen.

Ich wünsche der Tagung der 6. Kommission für die Anwendung der Bodenkunde in der Kulturtechnik einen vollen Erfolg und zweifle nicht daran, daß die wertvollen pedologischen Forschungen für alle Delegierten von Interesse sein werden. Möge ein reicher Gewinn sich für alle Länder ergeben, die hier vertreten sind, zu Nutz und Frommen der Wissenschaft und der Praxis. Mit diesem Wunsche heiße ich Sie alle herzlich willkommen im Schweizerland.

Mesdames, Messieurs,

A l'occasion de l'ouverture de la séance de la sixième commission de l'Association Internationale de la Science du Sol, j'ai l'honneur de vous apporter les salutations du Conseil fédéral suisse et de vous souhaiter la bienvenue dans notre cher pays.

Mes souhaits de bienvenue s'adressent tout d'abord à nos hôtes étrangers.

La 6<sup>e</sup> Commission de l'Association Internationale de la Science du Sol s'occupe de mettre la pédologie au service de la technique agricole. Les représentants les plus autorisés du génie rural, de la science du sol et de la technique, délégués par de nombreux pays, prennent part à votre Congrès.

Nous sommes fiers de pouvoir leur offrir durant ces quelques jours l'hospitalité de notre pays. La Confédération suisse, en tant qu'Etat libre, s'efforce de collaborer avec les autres pays dans un esprit de paix et d'entente cordiale. Nous voulons travailler la main dans la main, dans tous les domaines, en vue de l'entente et du bien-être des peuples. Chers invités, c'est à ce titre que je me permets de vous saluer dans nos trois langues nationales.

Pour notre petit pays, votre Congrès a une importance particulière. Notre sol est pauvre en matières premières, mais notre pays est d'autant plus riche en beautés naturelles et nous serons heureux de pouvoir vous en faire apprécier quelques-unes au cours de nos excursions.

En votre qualité de représentants de la science du sol, vous pourrez constater combien diverses sont les conditions de notre sol et de notre climat. Il est vrai qu'on peut répartir la Suisse en trois régions bien caractérisées, à savoir: le Jura, le Plateau et les Alpes. Mais, même à l'intérieur de ces régions, on rencontre fréquemment sur un territoire très restreint des conditions très différentes, des sols les plus hétérogènes et des climats très variés. Dans les Alpes, les conditions pédologiques varient fréquemment d'une vallée à l'autre. Il arrive même qu'à l'intérieur d'une seule vallée, on constate une véritable mosaïque de sols. Au sud du pays, dans le Valais, le Tessin et les Grisons, on peut sur une distance de 20 km à peine s'élever des régions basses très chaudes et à végétation subtropicale, aux plus hauts sommets de l'Europe avec leurs glaciers et leur neiges éternelles. La flore et la faune présentent des contrastes comparables à ceux d'un kaléidoscope et se rencontrent sur des sols les plus divers. Pareils changements exercent même sur l'homme une très grande influence.

Que voit, qu'observe le savant, le technicien? L'énigme de la constitution du monde, les changements géologiques et pédologiques. Il s'efforce de dévoiler le miracle de la nature et d'expliquer ce miracle. Le sol est la première condition de toute vie. Il fournit l'habitat, la nourriture et les vêtements. Nous considérons dès lors comme un devoir sacré d'étudier à fond la constitution de nos sols, d'apprendre à les connaître. L'application à ce but de la science pédologique doit être considérée comme étant une des tâches les plus nobles de l'humanité.

Je souhaite plein succès à la réunion de la 6<sup>e</sup> Commission pour l'application des connaissances pédologiques au génie rural et ne doute pas que ses travaux ne manqueront pas d'intéresser tous les délégués. Puissent ces travaux être une source de profits pour les nombreux pays qui sont représentés ici, dans l'intérêt même, de la science et de la technique agricoles. C'est dans cet esprit que je vous souhaite à tous une cordiale bienvenue sur le sol helvétique.

Gentili Signore, Egregi Signori,

In occasione dell'apertura della 6a Commissione della Società internazionale della pedologia ho l'onore di portarvi il saluto del Consiglio federale e di darvi il cordiale benvenuto del nostro paese.

Questo benvenuto vada in modo speciale a tutti gli ospiti stranieri.

La 6a Commissione della Società internazionale della pedologia si occupa dell'applicazione della pedologia nel campo della tecnica agraria. A questo Congresso partecipano i rappresentanti più eminenti della pedologia e della tecnica agraria, i delegati della scienza e della pratica, i delegati di vari popoli e paesi.

Siamo fieri di poter accogliere tutti questi ospiti per alcuni giorni fra noi. La Confederazione Svizzera vuole mantenere, quale Nazione libera, con tutti gli Stati delle relazioni di pace sincera e di vera amicizia. Noi vogliamo collaborare in tutti i campi all'elevamento del benessere generale ed alla reciproca comprensione. Mi sia perciò consentito, egregi ospiti, di rivolgervi un saluto di sincera amicizia nelle tre lingue nazionali.

Il vostro Congresso ha un'importanza particolare per il nostro paese. Siamo poveri in materie prime, ma per contro ricchi di bellezze naturali, che saremo lieti di mostrarvi in parte durante le escursioni.

Quali rappresentanti della pedologia e della tecnica agraria osserverete la varietà delle nostre condizioni pedologiche e climatiche. La Svizzera può essere certamente suddivisa in tre territori ben diversi l'uno dall'altro: Il Giura, l'Altipiano o regione di mezzo e la regione delle Alpi. Ma anche in questi territori s'incontrano sovente, su di uno spazio molto ristretto, le variazioni più grandi, i terreni più eterogenei ed il clima più diversi. Nella regione delle Alpi, le condizioni pedologiche variano sovente da valata a vallata ed anche nelle singole vallate troviamo un vero mosaico di specie diverse di terreni.

Nelle nostre regioni meridionali, nel Vallese, nel Ticino e nei Grigioni, si può salire, ad una distanza di circa 20 km in linea d'aria, dalle regioni basse con una temperatura estiva insopportabile ed una

vegetazione tropicale alle regioni alpine europee più elevate con campi di neve e ghiacciai eterni. La flora e la fauna variano in modo caleidoscopico e vivono su questo terreno molto diverso. La varietà del terreno esercita un potente influsso anche sull'uomo.

E cosa vede l'occhio spirituale dello scienziato e dello specialista se non il segreto dell'origine del mondo, della trasformazione geologica e pedologica? I suoi sforzi mirano a svelare e spiegare il miracolo della natura ed uno di questi miracoli è precisamente il terreno. Esso costituisce la condizione dell'esistenza di ogni essere vivente. Esso porta, nutre e veste. Perciò si può dichiarare, con diritto, come uno scopo divino quello di imparare a conoscere e comprendere nel suo giusto valore il terreno e considerare la pedologia come uno dei compiti scientifici più nobili dell'umanità.

Auguro al Congresso della 6a Commissione per l'applicazione della pedologia nella tecnica agraria un pieno successo. Non dubito che le preziose ricerche pedologiche abbiano ad interessare tutti i delegati. Che tutti i paesi rappresentati in questo Congresso abbiano ad approfittare largamente per il bene della scienza e della pratica. Animato da questo desiderio do a voi tutti un cordiale benvenuto nella Patria svizzera.

Prof. Dr. E. Bäschlin,

Rektor der Eidgenössischen Technischen Hochschule.

Meine Damen und Herren!

Im Namen der Eidg. Technischen Hochschule heiße ich Sie in unsern Räumen herzlichst willkommen. Ich bin beauftragt, Ihnen auch den Willkommgruß des Präsidenten des Schweiz. Schulrates, Herrn Prof. Dr. *Rohn* zu entbieten. Abwesenheit von Zürich hindert ihn daran, dies persönlich zu tun. Er läßt Sie seines besondern Interesses für Ihre Arbeit versichern.

Die Eidg. Technische Hochschule freut sich, daß Sie Ihre Tagung in ihrem ersten wissenschaftlichen Teil nach Zürich und in ihre Räume verlegt haben. Die Durchsicht Ihrer Verhandlungsliste zeigt, daß Sie ein außerordentlich umfangreiches Arbeitspensum zu bewältigen haben. Mit besonderer Genugtuung habe ich erkannt, daß Sie den wissenschaftlichen Fragen Ihres Gebietes sehr große Bedeutung beimessen.

Das Gebiet der Bodenkunde, dem sich Ihre Gesellschaft widmet, ist außerordentlich vielseitig. Sie sind dazu berufen, aus Ihrer vertieften Erkenntnis des Bodens vielseitige Anregungen für die rationelle Bebauung desselben zu geben. Sie erfüllen damit, neben der Befriedigung des menschlichen Wissensdranges, eine eminent wichtige volkswirtschaftliche Aufgabe.

Die 6. Kommission Ihrer Gesellschaft, deren Tagung Sie hier vereinigt hat, beschäftigt sich mit der Anwendung der Bodenkunde auf die Kulturtechnik. Eine Unterkommission widmet sich insbesondere den Moorböden.

Die Bedeutung der Kulturtechnik für die allgemeine Volkswirtschaft ist auch in unserm Lande, wenn auch verhältnismäßig spät, erkannt worden. Im Jahre 1888, also vor bald 50 Jahren, wurde an dieser Hochschule, dem damaligen Eidg. Polytechnikum, eine Kulturingenienschule eingerichtet. Als erster Dozent für Kulturtechnik wirkte Prof. *Caspar Zwicky*. Nach 45jähriger Lehrtätigkeit trat er auf Ende des Sommersemesters 1933 70jährig in den wohlverdienten Ruhestand, um leider schon im Frühjahr 1935 vom Tode ereilt zu werden. Prof. *Zwicky* hat zusammen mit Prof. Dr. *Krämer* unsere Kulturingenienschule aus kleinen Anfängen zu einer schönen Entwicklung geführt.

Diese Kulturingenienschule hat seit ihrer Gründung verschiedene Wandlungen in ihrer Organisation durchgemacht, auf die Sie mich in aller Kürze eintreten lassen.

Schon am Anfang ergaben sich bei der Aufstellung des Studienplanes Schwierigkeiten. Während Prof. *Krämer* das Hauptgewicht auf die naturwissenschaftlichen Fächer legen wollte, postulierten Prof. *Pestalozzi* und Prof. *Zwicky*, die mathematischen und bautechnischen Fächer in den Vordergrund zu stellen. Aus diesen ganz verschiedenen Standpunkten entstand dann eine in unserm Lande so beliebte Kompromißlösung, die zur Aufstellung eines siebensemestrigen Studienplanes führte.

Im Jahre 1895 wurde der Studienplan radikal geändert, indem die naturwissenschaftlichen Fächer so stark reduziert worden sind, daß einerseits der mathematische Unterricht, wie er für die Bauingenieure längst bestand, aufgenommen und zugleich die Studiendauer von 7 auf 5 Semester gekürzt werden konnte. Diese Maßnahme hatte eine starke Vermehrung der Studierenden zur Folge. Von den heute im Amte stehenden kantonalen Kulturingenieuren hat ein großer Teil nach diesem Plane studiert. Aber auch er wies beträchtliche Mängel auf. Es bestand ein Mißverhältnis zwischen der breiten propädeutischen Ausbildung und der sehr kurzen Zeit, die für die angewandten Disziplinen verblieb, so daß diese nicht immer auf akademischer Höhe behandelt werden konnten.

Deshalb wurde im Jahre 1908 die Studienzeit wieder auf 7 Semester erhöht, unter Erweiterung des Unterrichtes in der Richtung des Bauingenieurs und im Vermessungswesen unter Eingliederung in die Abteilung für Bauingenieurwesen.

Im Jahre 1920 wurde die Studiendauer für die Bauingenieure auf 8 Semester erhöht. Aus diesem Grunde wurde die Ausbildung der Kulturingenieure, die auf 7 Semestern belassen wurde, wieder einer eigenen Abteilung anvertraut, der auch die fünfsemestrige Ausbildung der Grundbuchgeometer angegliedert wurde. Die Vermessungsingenieure verblieben an der Bauingenieurabteilung mit einem achtsemestrigen Studienplan.

Diese Neuordnung führte zur Schaffung einer zweiten Professur für Kulturtechnik. Anfänge dazu hatten sich schon früher gezeigt, indem eine Zeitlang Prof. Dr. *J. Rebstein* einige kulturtechnische Fächer gelesen hatte. Später hatte Herr Oberst *J. Girsberger*, der in Ihren Kreisen wohl bekannt ist, einen Lehrauftrag für Kulturtechnik inne.

Als Hauptprofessor für Kulturtechnik wurde der Präsident des Organisationsausschusses dieser Tagung, Herr Prof. *E. Diserens* gewählt. Herr Prof. *Zwicky* verlegte seine Hauptlehrtätigkeit an die Abteilung für Forstwissenschaft.

Im Jahre 1934 hat dann noch einmal eine Revision des Studienplanes der Abteilung stattgefunden, indem die Ausbildung der Vermessungsingenieure ihr wieder angegliedert worden ist. Die Abteilung heißt seit dieser Revision Abteilung für Kulturingenieur- und Vermessungswesen. Sie enthält die Unterabteilungen für Kulturingenieure (7 Semester), für Vermessungsingenieure (7 Semester) und für Grundbuchgeometer (5 Semester). Näher auf die Organisation einzutreten, verbietet mir die Zeit.

Wie Sie aus dieser kurzen Skizze der Entwicklung der Ausbildung der Kulturingenieure an der Eidg. Technischen Hochschule entnommen haben, ist jetzt ihre Ausbildung mit derjenigen der Vermessungsingenieure und der Grundbuchgeometer an einer Abteilung vereinigt. Die Kleinheit unseres Landes verbietet uns eine zu weitgehende Spezialisierung.

Da die Güterzusammenlegung bei der schweizerischen Grundbuchvermessung, die seit 1912 im Gange ist, eine sehr wichtige Rolle spielt, so ist ein verständnisvolles Zusammenarbeiten des Kulturingenieurs mit dem Grundbuchgeometer Voraussetzung für die reibungslose Durchführung des großen Werkes. Die Behörden unserer Hochschule glaubten, dies nicht besser fördern zu können, als durch die Vereinigung der Ausbildung der beiden Berufsgruppen an *einer* Abteilung.

Ich schließe aus der Organisation Ihrer Gesellschaft, die eine Kommission für die Kartierung des Bodens in sich schließt, daß diese Gedankengänge Ihnen nicht fremd zu sein scheinen.

Ich will aber Ihre kostbare Zeit, die wichtigen wissenschaftlichen Fragen gewidmet sein soll, nicht weiter in Anspruch nehmen. Ich komme zum Schluß.

Mein aufrichtiger Wunsch geht dahin, daß Ihre Tagung in der Schweiz gute Früchte trage, indem das verständnisvolle Zusammenarbeiten der berufensten Fachleute aus 22 verschiedenen Ländern für Ihre Wissenschaft und Technik neue Anregungen bringen möge.

Übrigens steht Ihre Tagung unter einem günstigen Omen. Ist doch auch die Schweiz aus 22, wenn auch kleinen souveränen Staatenwesen, mit eigenen Regierungen, den Kantonen, zusammengesetzt. Auch Sie kommen aus 22 verschiedenen souveränen Staaten. Der Schweizer Bund stellt eine Staatenfamilie von verschiedenen Völkern verschiedener Sprache und Kultur dar. Da sind wir auf gegenseitiges wohlwollendes Verständnis für anderssprechende und andersgeartete Eidgenossen eingestellt. Möge dieses Zusammentreffen der Zahl 22 ein günstiges Omen für den Geist des gegenseitigen Verstehens bei Ihren Verhandlungen sein.

Möge auch das Wetter Ihnen bei Ihren interessanten Exkursionen gewogen sein, damit Sie die Schönheiten unseres kleinen Landes im Glanze der Sonne genießen und Sie angenehme Erinnerungen von Ihrer Tagung mit nach Hause nehmen können.



Kulturingenieur *E. Ramser*,  
Präsident des Schweizerischen Kulturingenieur-Vereins.

Hochgeehrte Damen und Herren!

Dem schweizerischen Kulturingenieur-Verein und der Konferenz der beamteten Kulturingenieure ist die hohe Ehre zuteil geworden, das Patronat für die Tagung der 6. Kommission der Internationalen Bodenkundlichen Gesellschaft zu übernehmen. Im Namen dieser beiden Vereinigungen danke ich für das uns entgegengebrachte große Vertrauen.

Vor allem heiße ich alle Mitglieder der I. B. G. aus den fremden Ländern in unserem Kreise herzlich willkommen. Ich freue mich, auch schweizerischerseits ein großes Interesse an dieser Tagung feststellen zu können und begrüße: die Vertreter der Eidg. Sektion für Bodenverbesserungen, der Inspektion für Forstwesen, Jagd und Fischerei, der eidgenössischen landwirtschaftlichen Versuchsanstalten, die Professoren der E. T. H. und die Vertreter verschiedener landwirtschaftlicher Organisationen. Kollegialen Gruß entbiete ich den Kulturingenieuren verschiedener kantonomer Meliorationsämter.

Meine Damen und Herren! Das Gemeinsame, das uns für einige Tage zusammenführt, das ist die uralte Beziehung vom Menschen zum Boden, der Hang zur Scholle. Diese Erdverbundenheit geht der Wissenschaft und den Wissenschaftlern im allgemeinen ab, uns Bodenkundler und Kulturingenieure jedoch zeichnet sie aus. Sie hat uns dazu geführt, den schönen Beruf des Boden-Erforschens und des Boden-Verbesserns zu ergreifen, und der Beruf ist es, der uns immer wieder zur Scholle zurückführt. Boden ist deshalb für uns nicht nur ein wissenschaftlicher Begriff, er ist uns Nährraum, Heimat und Vaterland.

Wir Kulturingenieure und Leute der Praxis freuen uns, daß sich Ihre Tagung nicht nur im Theoriesaal abwickelt, und daß wir Ihnen einen kleinen Ausschnitt schweizerischer Kulturböden im Mittelland, im Voralpengebiet, in den Alpen und im Jura zeigen dürfen. Dabei werden wir Gelegenheit haben, Sie auf die Werke der Kulturtechnik aufmerksam zu machen, die dort in den letzten fünfzig Jahren mit finanzieller Unterstützung durch die Kantone und durch die Eidgenossenschaft ausgeführt worden sind. Sie werden daraus erkennen, daß wir bestrebt sind, unsere Böden zu verbessern und Neuland zu schaffen für die Zwecke der Innenkolonisation, indem wir die Erkenntnisse aus den bodenkundlichen Forschungen in die Praxis umsetzen.

Ihre Tagung wird uns ein Ansporn sein zu neuen Taten in unserem schönen, erdverbundenen Berufe.

Möge auch diese internationale Zusammenarbeit in der Bodenkunde und in der Bodenverbesserung mit dazu beitragen, eine Verständigung unter den Nationen herbeizuführen, damit nicht mehr der Schützengraben seine Furchen durch die Erde ziehe, sondern nur noch der Pflug.

Prof. Dr. F. Schucht,  
Präsident der Internationalen Bodenkundlichen Gesellschaft.

Herr Vertreter des Bundesrats,  
Herr Präsident des Vorbereitungs-Ausschusses,  
Meine Damen und Herren!

Wenn ich bei dieser Eröffnungsfeier als Präsident der I. B. G. das Wort ergreife, so geschieht das nicht, um dem Herrn Präsidenten der hier tagenden 6. Kommission, der diese Tagung zu leiten berufen ist, Herrn Oberbaurat *Fausser*, eins seiner Rechte zu nehmen, sondern um auch von mir aus im Namen der Internationalen Bodenkundlichen Gesellschaft zum Ausdruck zu bringen, daß wir unseren Schweizer Kollegen zu großem freudigen Dank verpflichtet sind dafür, daß sie diese Tagung in ihr Land einberiefen und ihr unter der besonderen Leitung von Prof. *Diserens* ein so wohlvorbereitetes und hochinteressantes Tagungsprogramm bereiteten.

Ich gebe dem Wunsche Ausdruck, daß in dieser Tagung fruchtbringende Arbeit geleistet werden möge, als Vorarbeit für den IV. Internationalen Bodenkundlichen Kongreß, den Deutschland im Jahre 1940 abzuhalten die Ehre haben wird und den vorzubereiten wir bereits eifrig an Werke sind.

Jeder Kongreß soll einen Meilenstein bedeuten auf dem Wege des Fortschritts bodenkundlicher Forschung; wir sind fest davon überzeugt, daß wir auch mit dem nächsten Kongreß 1940 mit unserer Wissenschaft wieder einen erheblichen Ruck vorwärts tun werden, im Interesse und zum Wohle aller Völker und Länder, die sich in unserer I. B. G. zu gemeinsamer Arbeit zusammenfanden. Die Arbeit der jetzt tagenden 6. Kommission ist in hohem Maße mit dazu berufen, an diesem kulturellen Fortschritt mitzuarbeiten.

Außer dem Schweizer Organisationskomitee danke ich auch an dieser Stelle dem rührigen Präsidenten der 6. Kommission, Herrn Oberbaurat *Fausser*, für die wissenschaftliche Vorbereitung dieser Tagung, ferner unserem verehrten Vizepräsidenten und Generalsekretär Dr. *Hissink*, der, wie wir alle wissen, es meisterhaft versteht, solche Tagungen organisieren zu helfen. Eine mühevollen Arbeit, die sich sozusagen hinter den Kulissen abspielt.

Meine Damen und Herren! Ich habe aber auch das Wort ergriffen, um an dieser Stelle zweier Männer zu gedenken, deren Namen mit goldenen Lettern in das Buch bodenkundlicher Forschung eingetragen sind, zweier Männer, die die Schweiz mit Stolz als die ihrigen aufzuweisen berechtigt ist. Sie wissen, wen ich meine; es sind das der Oberst *Johannes Girsberger* und Professor *Georg Wiegner*, zwei überragende Männer, die der Schweiz zu höchster Ehre gereichen, und die nicht nur in ihren Werken, nein auch im Herzen aller derer weiterleben, die mit diesen beiden Männern jemals in Berührung kamen.

Wir können unmöglich eine bodenkundliche Tagung in der Schweiz abhalten, ohne diese beiden Männer wieder vor uns aufleben zu lassen, ohne ihren Geist zu verspüren, den Geist wissenschaftlichen Forschungstriebes, größter Arbeitsfreudigkeit und Arbeitsenergie, um zu versuchen, es ihnen gleich zu tun. Wir haben gestern am

Grabe des einen, des Oberst *Girsberger*, einen Kranz niedergelegt; aus gewissen Rücksichten heraus war uns eine solche Ehrung bei Professor *Wiegner* leider nicht möglich; aber der Lorbeerkranz gebührt auch ihm.

*Girsberger* und *Wiegner* — sie sind beide zu früh zu den Toten entboten, zu früh auch für unsere bodenkundliche Wissenschaft. *Girsberger*, der führende Geist auf dem Gebiete der angewandten kulturtechnischen Bodenkunde, *Wiegner*, der führende Geist tiefgründiger wissenschaftlicher Forschung. Sie gingen ganz verschiedene Wege; jeder leistete auf seinem Gebiete Großes.

Es ist hier nicht meine Aufgabe, diese beiden überragenden Bodenkundler der Schweiz an dieser Stelle eingehender zu würdigen. In unserer Zeitschrift haben seinerzeit Herr Dr. *Gefßner* vom Leben und Wirken *Girsbergers*, Herr Professor *Pallmann* von Person und Bedeutung *Wiegners* ein schönes Bild entworfen, die Persönlichkeiten trefflich gezeichnet.

*Girsberger*, dem die Schweiz die großzügigsten Maßnahmen auf dem Gebiete des Meliorationswesens zu verdanken hat, dem wir, die I. B. G., für eifrigste Mitwirkung bei der Gründung unserer Gesellschaft, für den Entwurf der Statuten u. a. m. und für sein Arbeiten in der 6. Kommission, deren erster Präsident er war, zu danken haben — *Wiegner*, der uns die Bodenkunde von kolloidchemischen Gesichtspunkten aus zu betrachten lehrte und unsere Wissenschaft in neue Bahnen lenkte, *Wiegner*, von dem *Pallmann* sagt, daß er nicht nur die Bodenkunde, sondern das Gesamtgebiet der Agrikulturchemie meisterte wie kein anderer. Ja, er war unser Meister, ein Mann von Weltgeltung, dem wir heute unser Erinnern weihen.

*Girsberger* — *Wiegner*. Als Menschen steht ihr heute wieder vor uns da. *Girsberger*, Oberst *Girsberger*, du Mann in deiner soldatischen Haltung, mit deinem frischen soldatischen Wesen, deiner soldatischen Energie, deiner Arbeitsfreudigkeit; ein an Erfolgen reicher Mensch und auch als Mensch mit fröhlichem Herzen und von herrlichem Humor besetzt, wenn wir nach getaner Arbeit fröhlichen Umtrunk hielten. — Wir gedenken deiner in Treue!

Und du, *Georg Wiegner*, für die Wissenschaft bist du nicht gestorben; dein Geist lebt weiter durch deine Arbeiten, durch die Probleme, die du der Bodenkunde stelltest, durch die vielen Schüler in aller Herren Ländern, die in deinem Sinne weiterarbeiten. Keiner, der mit dir in Berührung kam, konnte sich deinem Geist, der großen Güte und Hilfsbereitschaft, die von dir ausgingen, verschließen. Wer deine ganze Persönlichkeit kennt, weiß, daß deine soziale Einstellung allein von Menschlichkeit diktiert war und eine andere Deutung nicht erfahren darf — und daß an deinem guten deutschen Herzen nicht zu zweifeln ist. Als edler Mensch lebst auch du, *Georg Wiegner*, in unserem Herzen fort.

Meine Damen und Herren! Die I. B. G. ist mit der Schweiz, in der diese beiden Männer wirkten und Großes leisteten, stolz auf deren Leistungen und wird ihre Namen, die so fest verankert sind mit unserer Wissenschaft, stets in Ehren halten.

Ich bitte Sie, meine Damen und Herren, sich zu Ehren dieser großen Toten von Ihren Plätzen zu erheben.

Oberbaurat *Otto Fauser*,  
Präsident der 6. Kommission der I. B. G.

Meine sehr verehrten Damen und Herren!

Als Vorsitzender der 6. Kommission der Internationalen Bodenkundlichen Gesellschaft sowie im Namen der Unterkommission für Moorböden spreche ich den verbindlichsten Dank für die liebenswürdigen Worte der Begrüßung aus, die wir soeben vernahmen durften.

Vor allem danke ich dem Vertreter des Schweizerischen Bundesrats, Herrn Kulturingenieur *Strüby*, Sektionschef für Bodenverbesserungswesen im Eidg. Volkswirtschaftsdepartement, für seine guten Wünsche zu einem erfolgreichen Verlauf unserer Tagung. Gleichzeitig gestatte ich mir, Herrn *Strüby* zu bitten, dem Bundesrat den ehrerbietigsten Dank der 6. Kommission für das große Entgegenkommen zu übermitteln, das er der Kommission dadurch erwiesen hat, daß er für die Drucklegung unserer Verhandlungen einen namhaften Geldbetrag bewilligt hat.

Besonderer Dank gebührt der Konferenz der schweizerischen beamteten Kulturingenieure und dem Schweizerischen Kulturingenieur-Verein dafür, daß sie das Patronat unserer Tagung übernommen und zusammen mit Herrn Professor *Diserens* die örtliche Vorbereitung der Tagung und der Exkursionen in mustergültiger Weise durchgeführt haben.

Der Willkommgruß, den seine Magnifizenz der Rektor der Eidgenössischen Technischen Hochschule, Herr Professor Dr. *Bäschlin*, an die Kommission zu richten die Güte hatte, war für uns sehr ehrend. Ich spreche Eurer Magnifizenz den verbindlichsten Dank für Ihre freundlichen Worte sowie dafür aus, daß Sie die Räume der Hochschule für unsere Verhandlungen zur Verfügung gestellt haben. Die E. T. H. ist im glücklichen Besitze eines kulturtechnisch-bodenkundlichen Instituts, dessen Namen in der Welt einen guten Klang hat. Der Vorstand des Instituts, Herr Prof. *Diserens*, ist zugleich stellvertretender Vorsitzender der 6. Kommission. Zwischen dieser und der E. T. H. bestehen daher schon seit Jahren enge Beziehungen. Ich hoffe, daß unsere gegenwärtige Tagung zu einer weiteren Festigung dieser Beziehungen beitragen wird.

Endlich habe ich dem Präsidenten der Internationalen Bodenkundlichen Gesellschaft, Herrn Prof. Dr. *Schuchl*, und ihrem stellvertretenden Präsidenten und Generalsekretär, Herrn Dr. *Illsink*, dafür zu danken, daß sie es ermöglicht haben, die Zusammenfassungen der rechtzeitig eingelaufenen Abhandlungen als Teil A unserer Verhandlungen in den Mitteilungen der Internationalen Bodenkundlichen Gesellschaft zu veröffentlichen.

Verehrte Anwesende! Es gereicht der Kommission zu hoher Ehre, daß eine solch große Zahl hervorragender Fachgenossen aus Nah und Fern zu der Tagung erschienen ist. Besonders hoch weiß es die Kommission anzuschlagen, daß außer dem Schweizerischen Bundesrat die Kgl. Dänische und die Kgl. Rumänische Regierung, die Regierung der verbündeten Malayenstaaten, das Gouvernement von Niederländisch-Indien, der Deutsche Reichsminister für Ernäh-

runge und Landwirtschaft, das Landwirtschaftsministerium des Königreichs der Niederlande, das Österreichische Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, das Landwirtschaftsministerium der Tschechoslowakischen Republik und die Kgl. Ägyptische Universität in Kairo offizielle Vertreter zu unserer Tagung entsandt haben.

Für die Tagung sind im ganzen 63 Abhandlungen eingelaufen, eine bei den früheren Tagungen der Kommission noch nie auch nur annähernd erreichte Zahl. Es ist deshalb mit Bestimmtheit zu hoffen, daß die Tagung allen Teilnehmern reiche Anregung zu geben vermag. Ich schließe mit dem Wunsche, daß unsere Verhandlungen wesentlich zur Förderung der kulturtechnisch-bodenkundlichen Wissenschaft beitragen mögen.

## 1. Sitzung der 6. Kommission

Montag, den 2. August 1937, 11 Uhr 30 Minuten.

Vorsitzender: *Brüne*.

Verhandlungsleiter: *Fausser*.

57 Teilnehmer.

**Fausser** begrüßt die Teilnehmer in englischer, französischer und deutscher Sprache und fährt dann fort: Bevor wir in die Tagesordnung eintreten, habe ich einige Mitteilungen zu machen. Leider muß ich diese damit beginnen, daß die 6. Kommission am 8. Dezember 1935 durch den Tod des Herrn Prof. Josef *Kopecký* in Prag in tiefe Trauer versetzt worden ist. Herr Prof. *Kopecký* ist der eigentliche Begründer und eifrige Vorkämpfer der kulturtechnischen Bodenkunde gewesen, sein Hinscheiden hat deshalb in unsere Reihen eine sehr schmerzliche Lücke gerissen. Seine Verdienste um die kulturtechnisch-bodenkundliche Wissenschaft werden in der 6. Kommission unvergessen bleiben. Meine Herren! Ich bitte Sie, sich zu Ehren des Verstorbenen von den Stilen zu erheben. (Geschlecht.) Ich danke Ihnen.

Die Richtlinien für unsere Verhandlungen sind die folgenden:

Zuerst tragen die Herren Hauptberichterstatter ihre Hauptberichte und Entschließungsanträge vor.

Dann haben die Herren Berichterstatter Gelegenheit, das Wort zu ergreifen. Es soll dies jedoch nur von solchen Herren geschehen, deren Abhandlungen nicht den Hauptberichterstellern vorgelegen haben oder die wirklich wesentliche Ergänzungen oder Berichtigungen zu den Hauptberichten zu machen haben. Alle übrigen Berichterstatter sollen um der beschränkten Zeit willen auf das Wort verzichten. Aus dem gleichen Grunde muß die Redezeit der einzelnen Berichterstatter auf höchstens 10 Minuten beschränkt werden.

In der Diskussion soll tunlichst nur zu den Entschließungsanträgen Stellung genommen werden. Die Diskussionsredner erhalten zu jedem Gegenstand nur einmal das Wort, ein zweites Mal nur dann, wenn sie eine faktische Bemerkung zu machen haben. Die Redezeit der Diskussionsredner muß auf höchstens 5 Minuten beschränkt werden.

Am Schluß wird der endgültige Wortlaut der Entschließungen festgesetzt.

Ich habe endlich noch mitzuteilen, daß Herr Prof. *C. L. Feilberg* an der Landwirtschaftlichen Hochschule in Kopenhagen mir 75 Sonderdrucke seiner soeben erschienenen Arbeit über «Die Bewegung des Wassers in Dränsträngen» mit der Bitte übersandt hat, sie kostenlos den interessierten Teilnehmern zur Verfügung zu stellen. Ich bitte, sich zu bedienen.

Wir können nun in die Tagesordnung eintreten. Gegenstand dieser Sitzung ist das

**Dränungsversuchswesen --- Recherches sur le drainage**  
**Drainage research.**

Abhandlungen Nr. 10—18, Seite 105—174.

**Ramsauer** als Hauptberichtersteller: *Smolik* erörtert in seiner Arbeit (S. 105) den Wert der Bestimmung des Reduktionspotentials in gedränten und ungedränten Böden, gibt eine Beschreibung des angewandten Verfahrens und teilt an Hand zeichnerischer Auftragungen die Ergebnisse seiner Untersuchungen mit. Nach diesen scheint die Dränung auf die reduzierenden Eigenschaften der untersuchten Böden einen großen Einfluß auszuüben.

Über die Arbeiten von *Donat*: «Beobachtungen an einer Versuchsdränung in Söllheim bei Salzburg» (S. 110) und von *Solnař*: «Die Dränwirkung in den Trockenperioden» (S. 120) haben die Verfasser im Teil A der Verhandlungen bereits selbst kurze Auszüge gebracht. Im Hinblick auf die Kürze der Zeit soll eine Wiederholung vermieden werden. Ich möchte aus dem Berichte von *Donat* lediglich die Feststellung hervorheben, daß aus den Standrohrbeobachtungen sichere Schlüsse auf die Wirksamkeit der Dränungen unmöglich seien, aus dem Berichte von *Solnař* hingegen die bekannte Tatsache unterstreichen, daß in trockenen Jahren gedränte tiefe Ackerböden eine größere Bodenfeuchtigkeit besitzen als ungedränte. Die angeführten Versuchsergebnisse zeigen jedoch, daß diese Tatsache für die primären Böden des Kristallinikums im böhmischen Hügellande nicht gilt, daß vielmehr zur Vermeidung von zu intensiver Entwässerung weitere Dränentfernungen zu wählen sind.

*Zavadil* gibt in seinem Beitrag: «Wasserabfluß aus einem bestimmten Tonboden» (S. 127) zunächst einen kurzen Rückblick über den Ausbau der Dränungsvorschriften, die nach und nach immer mehr Einflußfaktoren in Rechnung zogen. Er weist darauf hin, daß insbesondere bei ortssteten Verwitterungsböden die Dräntiefe eine wichtige Rolle spielt und daß eine schematische Übertragung der auf Schwemmlandböden gesammelten Erfahrungen auf Verwitterungsböden nicht statthaft ist. Die praktische Erfahrung muß durch Feldversuche ergänzt werden, und dies um so mehr, als die bisherigen Resultate bestimmte Zusammenhänge zwischen den Methoden der Bodenuntersuchung und dem Durchlässigkeitswert nach *Darcy* nicht erkennen lassen. Es folgt dann ein Bericht über ein Versuchsfeld auf altem Teichboden mit schwerem Ton (60% Abschlämmbares), dessen Einteilung und Einrichtung. Die Beobachtungsergebnisse werden dargestellt. Ein Zusammenhang zwischen Niederschlag und Abfluß ergibt sich nur im Jahre 1936.

*Geytman* berichtet in seiner Abhandlung «Über die Verbesserung der nassen Mineralböden Rußlands» (S. 133) über die dort zur Anwendung kommenden Methoden, die Anlage eines Meliorationskatasters und die einschlägigen Arbeiten der Versuchsanstalten.

Die Versuche gehen nach folgenden Richtungen:

1. Verbesserung des oberirdischen Abflusses,
2. Dränung und Maulwurfdränung,
3. Verbesserung der physikalischen Bodeneigenschaften und der Durchlüftung des Bodens,
4. besondere Verbesserungsverfahren.

Die Versuche und Untersuchungen gehen im allgemeinen parallel mit denen der übrigen Länder. *Pissarkov* hat Dränentfernungsformeln für hochliegenden und tiefliegenden undurchlässigen Untergrund aufgestellt, in denen folgende Größen erscheinen: Dauer des Entwässerungsvorganges, Stand des Grundwasserspiegels, wasserhaltende Kraft des Bodens, Filtrationskoeffizient, Unterschied zwischen Regenhöhe und Verdunstung während der Entwässerungsdauer. Die von *Janert* aufgestellte Beziehung zwischen Bodenbeschaffenheit und Möglichkeit der Maulwurfdränung:

$$\text{Aufteilungsgrad} = \frac{\% \text{ Abschlämbbares } (< 0,02 \text{ mm})}{\text{Benetzungswärme in cal/g}}$$

wurde als zutreffend festgestellt.

Zum Schlusse werden die Erfahrungen mit Graben- und Dränbaggern bekanntgegeben und darauf verwiesen, daß ein im Sudan verwendeter Grabenbagger in abgeänderter Form auch in Rußland vielfach verwendet wird.

In den «Mitteilungen auf dem Gebiete des Dränversuchswesens» (S. 138) gibt *Fausser* einen kurzen Überblick über die in verschiedenen Staaten durchgeführten Versuchsanstellungen:

Von *Zink* liegt ein Bericht vor über die Beobachtungsergebnisse des bayerischen Versuchsfeldes auf dem Staatsgute in Weihenstephan für die Jahre 1933–1936. Das zunächst nur als Wiese genutzte Versuchsfeld zeichnet sich durch seine durch zahlreiche Bodenanalysen nachgewiesene gleichmäßige Bodenbeschaffenheit und dadurch aus, daß es von Fremdwasser frei ist. Genaue Beziehungen zwischen Niederschlag und Abfluß waren nicht feststellbar, wohl aber zwischen Abfluß und Strangentfernung, wobei mit zunehmender Strangentfernung der Abfluß abnahm. Der größte Abfluß betrug 8,3 sl/ha durch eine halbe Stunde. Der Bericht ist insbesondere deshalb von größtem Interesse, weil erstmalig für ein Dränungsversuchsfeld der Wasserhaushalt des Bodens unter Mitverwertung eines Lysimeters durch Angabe von Niederschlag, Verdunstung, ober- und unterirdischem Abfluß und Wasserspeicherung im Boden dargestellt wird.

In Dänemark werden die Dränversuche fortgesetzt.

*Keso*, Finnland, berichtet über Beobachtungen des Dränabflusses in Tonböden und bei Frost. Die bei Tonböden oft auftretende große Durchlässigkeit, auch bei völliger Durchfeuchtung, wird nachgewiesen. Weitere Nachweise werden erbracht für Beziehungen zwischen Dränabfluß und Lufttemperatur, Dränabfluß und Frost im Winter, Dränabfluß und Niederschlag. Größter beobachteter Abfluß 1,6 sl/ha.

Für das von *B. Ramsauer* bei Bruck an der Großglocknerstraße in Österreich angelegte Dränversuchsfeld, über das bereits in Oxford



berichtet wurde, gibt *Donat* eine Wassermengendauerlinie für die Jahre 1928 und 1932.

*St. Bac* berichtet über die Ergebnisse der Versuchsstation Koscielce in Polen. Er bringt Angaben über die Anlage des 16 ha großen Versuchsfeldes, spärliche Angaben über die Bodenbeschaffenheit und über die Fruchtfolge, sowie einen Bericht über 6jährige Beobachtungen.

Aus der Tschechoslowakei liegen Berichte über die Dränforschungsergebnisse der Jahre 1934 und 1935 vor. 1934 standen zwölf, 1935 fünfzehn Versuchsfelder in Betrieb. *Fausser* verweist endlich auf die Vorträge von *Solnař* und *Zavadil* und bringt aus den Jahresberichten die Ernteergebnisse einer 7jährigen Versuchsreihe der Versuchsstation Skalice.

Auf Grund der vorliegenden Arbeiten glaubt der Hauptberichtserstatter folgende *Entschließungsanträge* stellen zu sollen:

«1. Um die internationale Auswertbarkeit der Ergebnisse der Dränversuchsanlagen zu gewährleisten, wird den Mitgliedern der Internationalen Bodenkundlichen Gesellschaft empfohlen:

a) Die Einhaltung der in den Jahren 1929 und 1930 angenommenen Richtlinien für die internationale Ausgestaltung des Dränungswesens in ihrem Wirkungskreis nachdrücklichst zu vertreten; insbesondere

b) eine genaue Bodenaufnahme der ganzen Versuchsfläche vornehmen zu lassen und

c) genau festzulegen, ob der Wasserhaushalt der Versuchsflächen lediglich vom Niederschlag oder auch von Grundwasser abhängt. Im letzteren Falle darf die Abflußzahl nicht auf die zugehörige gedränzte Versuchsfläche umgerechnet werden.

d) Zur richtigen Ermittlung des Wasserhaushaltes von Versuchsdränungen ist die Gleichung

$$\text{Niederschlag (N)} - \left[ \text{Abfluß (A)} + \text{Speicherung (S)} \right. \\ \left. + \text{Pflanzenverbrauch (V}_1\text{)} + \text{Verdunstung (V}_2\text{)} \right] = 0$$

als Grundlage zu nehmen.

Neben den Messungen von N, A, S muß daher auch die Verdunstung und der Pflanzenverbrauch durch Lysimeter ohne und mit Vegetation genau verfolgt werden. Als einfachster Typ wird empfohlen: ein unten gelochter Kasten aus 4 mm starkem Eisenblech, der abseits des Versuchsfeldes in den gewachsenen Boden eingebracht wird und der noch mit einer einfachen Dezimalwaage auf 0,1 mm Niederschlag genau gewogen werden kann. Des weiteren wird die Aufstellung von geeigneten Verdunstungsmessern und -schreibern empfohlen.

2. Um die Vergleichbarkeit der Grundwasserbeobachtungen zu gewährleisten, ist ein einheitlicher Typ von Beobachtungsrohren einzuführen. Es wird die Verwendung folgender Vorrichtung empfohlen: ein Eternitrohr von 5 cm Lichtweite und 1 cm Wandstärke wird von seinem unteren Ende bis höchstens zur Dräntiefe ringsum mit 5 mm weiten Löchern versehen, die 2 cm von einander entfernt

und nach oben zu versetzt anzubringen sind. Das Rohr ist unten wasserdicht zu verschließen. Der Aushub für das Rohr ist womöglich mit einem Erdbohrer von 20 bis 22 cm Durchmesser zu bewerkstelligen. Nach dem Einsetzen des Beobachtungsrohres ist der Zwischenraum zwischen dem Rohr und der Wand des Bohrloches bis 40 cm unter Flur mit Bruchkies von etwa 10 mm Durchmesser anzufüllen. Die obersten 40 cm sind mit einem Lehm- oder Tonschlag zu versehen, der kegelförmig bis etwa 20 cm über dem Erdboden um das Rohr anzubringen ist, um das Abfließen des Tagwassers zu sichern.

3. Bei der Bestimmung des Redoxpotentials von Versuchsfeldböden ist nach dem Vorschlage von *Herzner*, Wien, vom wasser-gesättigten Boden auszugehen.»

### Diskussion.

**Burgevin:** Comme suite au rapport de M. *Laferrère* des expériences sont en cours, à la Station Centrale d'Agronomie de Versailles pour la détermination de la valeur optimum de  $h_0$ , c'est-à-dire de la distance du plan d'eau à la surface du sol. Les résultats en seront indiqués ultérieurement.

**Zunker:** Das Wort «Grundwasser» in Nr. 1c des Entschließungsantrags könnte zu Mißverständnissen führen. Es wird sich empfehlen, dafür den Ausdruck «unterirdische Fremdwasserzuflüsse» zu setzen. Im zweiten Absatz von Nr. 1d und in Nr. 2 des Antrags bleiben die Vorschläge für die Normung der Lysimeter und der Grundwasserbeobachtungsrohre besser weg. Die Normung muß eingehenden Beratungen vorbehalten bleiben, für die heute die nötigen Unterlagen fehlen. Auch sollte die Nr. 3 des Antrags wegleiben, denn das Verfahren von *Herzner* ist weder in einer Abhandlung noch in der Diskussion geklärt worden.

**Diserens** unterstreicht die Notwendigkeit, bei den Dränungsversuchen die physikalischen Eigenschaften des Bodens besonders zu berücksichtigen.

**Ramsauer:** Der Abänderung des Ausdrucks «Grundwasser» in «unterirdische Fremdwasserzuflüsse», sowie den vorgeschlagenen Kürzungen, stimme ich zu.

Der Wasserverbrauch der Pflanzen stellt eine Größe dar, deren Kenntnis für die Beurteilung des Wasserhaushalts im Boden wichtig ist; er ist mit Hilfe von bewachsenen und unbewachsenen Lysimetern zu ermitteln.

Die meisten Berichte bringen auch Angaben über die höchsten Abflußspenden. Um diese Angaben richtig verwerten zu können bzw. um Klarheit darüber zu erhalten, ob die angegebene Abflußspende den größten Abfluß aus dem Boden oder die Höchstleistung der Dräne darstellt, ist auch die letztere immer anzugeben.

**Fausser:** Um den Wasserabfluß in den Versuchsdränen richtig beurteilen zu können, empfiehlt es sich außerdem, auch über diesen Beobachtungsrohre einzusetzen. Steigt dann der Wasserspiegel in solchen Beobachtungsrohren auf, so ist dies ein Zeichen dafür, daß die Dräne den Wasserzufluß aus dem Boden nicht zu fassen vermögen und mehr oder weniger unter Druck stehen.

Im übrigen schlage ich vor, der gekürzten Nr. 2 des Entschliessungsantrags folgenden Satz anzufügen: «Über die zweckmäßigste Art dieser Beobachtungsrohre sollen noch Untersuchungen angestellt werden.»

**Donat:** Ich beantrage, in die Entschliebung noch die (auf Seite 581 abgedruckte) neue Nr. 3 aufzunehmen. Als Begründung meines Vorschlags, soweit als möglich selbstschreibende Meßgeräte zu verwenden, möchte ich ein Beispiel aus den Beobachtungen des Dränungsversuchsfelds Söllheim vorführen (Abb. 1). Das Bild zeigt den Verlauf der Temperatur, des Niederschlags, des Wasserstands in den Grundwasserbeobachtungsrohren im nicht entwässerten und in der Beetmitte des mit verschiedenen Dränabständen entwässerten Bodens, sowie des Dränabflusses. Die Linie für die Strangentfernung von 10,5 m und für den Dränabfluß sind durch Selbstschreiber aufgenommen, die übrigen aus täglich einmaligen Beobachtungen abgeleitet worden.

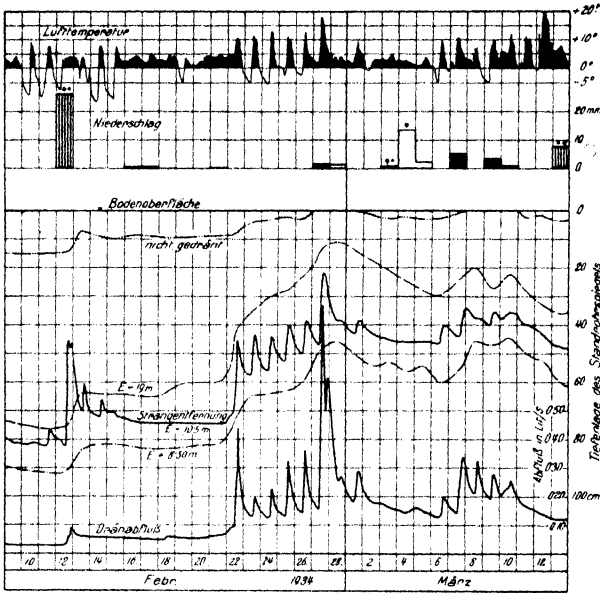


Abb. 1. Wasserhaushalt der gedrännten Fläche im Falle von Tauwetter.

Während die durch Selbstschreiber aufgezeichneten Ganglinien in sehr kennzeichnender Weise die Wirkung des Gefrierens und Wiederauftauens des Bodens auf die Druckverhältnisse im Bodenwasser widerspiegeln, gehen diese Änderungen im Falle von Beobachtungswischenräumen von einem Tag vollständig verloren.

Die Entschliebung zum Punkt Dränungsversuchswesen wird hierauf in dem auf Seite 580 in deutscher, auf Seite 584 in französischer und auf Seite 588 in englischer Sprache wiedergegebenen Wortlaut einstimmig angenommen.

## 2. Sitzung der 6. Kommission

Montag, den 2. August 1937, 15 Uhr.

Vorsitzender: *Rolley*.

Verhandlungsleiter: *Fausser*.

65 Teilnehmer.

### **Feldberegnung, Abwasserverwertung. L'irrigation par aspersion, l'utilisation des eaux usées. Sprinkling irrigation, sewage irrigation.**

Abhandlungen Nr. 19—28, Seite 177—244.

**Schildknecht** als Hauptberichterstatler:

#### 1.

*1. Die landwirtschaftliche Bewässerung ist diejenige kulturtechnische Maßnahme, welche den stärksten Einfluß auf den Boden ausübt.*

Wenn ein Boden bewässert wird, so ändert sich das Bodenklima und mit ihm das Bodenprofil. Durch die Jahrhunderte dauernde Bewässerung im schweizerischen Kanton Wallis sind, um ein Beispiel aus der Nachbarschaft zu nennen, die steppenähnlichen Walliser Böden in die humidere Form der Braunerde, ja selbst der leicht podsoligen Braunerde, übergegangen. Bei unrichtiger Bewässerung können bekanntlich früher ertragreiche Böden vollkommen ruiniert werden und der Landwirtschaft verloren gehen. Ehemals fruchtbare Gebiete Indiens, Ägyptens und besonders der Vereinigten Staaten von Nordamerika sind durch Überbewässerung in trostlose Salzwüsten umgewandelt worden.

*2. Die Abwasserbewässerung hat eine starke Zufuhr von Fremdstoffen zur Folge und es verstärkt sich dadurch die Einwirkung des Bewässerungswassers auf den Boden.*

Es ist entwickelt worden, daß schon die künstliche Bewässerung mit Reinwasser einen bedeutenden Einfluß auf die Umsetzungen im Bodenprofil haben kann. Sobald aber dem Bewässerungswasser noch Fremdstoffe in größeren Mengen beigegeben sind, so verstärken sich damit die Einwirkungen auf den Boden. Schon die seit dem Altertum gepflegte Bewässerung mit mineralschlammhaltigem Wasser vermag den Boden merklich zu beeinflussen. Es ist eine bekannte Tatsache, daß sich in ariden Böden eine Reihe komplizierter Vorgänge

abspielt, sobald stark salzhaltiges Wasser zur Bewässerung verwendet werden muß. Wird mit Abwasser bewässert, so steigern sich die Einflüsse auf Pflanze und Boden ins Mannigfaltige. Denn bei der landwirtschaftlichen Abwasserverwertung werden dem Boden nicht nur mineralische, sondern auch organische Fremdstoffe in großen Mengen zugeführt, die vielseitigen Abbauvorgängen unterworfen sind.

*3. Es ist somit verständlich, daß die Mehrzahl der Referenten auf die starke Beeinflussung des Bodens und der Pflanze bei der Beregnung und besonders bei der Abwasserbewässerung aufmerksam macht.*

Der praktizierende Kulturingenieur begeht vielfach noch immer den Fehler, der reinen Ingenieurtechnik verfallen zu sein. Dies ist heute besonders bei der künstlichen Bewässerung und auch bei der landwirtschaftlichen Abwasserverwertung zu beobachten. Die technischen Anlagen sollen nicht Selbstzweck sein, sondern sie haben sich den Anforderungen des Bodens und der Pflanze unterzuordnen. Um aber einen Boden technisch richtig bewässern zu können, muß man ihn in seinem Aufbau und seinen Funktionen genau kennen. Ist eine Bewässerungseinrichtung in Betrieb genommen, so ist der landwirtschaftliche Erfolg nur dann verbürgt, wenn die Einwirkung der Bewässerung auf Boden und Pflanze ständig überprüft wird. Die Kulturtechnik muß sich deshalb in vermehrtem Maße bewußt werden, daß bei einer Bodenverbesserung nicht die Kunstbauten, sondern die Bodenverbesserung als solche das Wichtigste ist. Den Boden ohne vorgängige eingehende Untersuchung verbessern zu wollen, wie es leider noch immer vorkommt, kann nicht schwer genug verurteilt werden. In seiner Arbeit «Vergleichende Untersuchungen über die Beregnungsbedürftigkeit des Bodens» (S. 200), in welcher die Verwertungsmöglichkeit von Abwasser auf Böden um Stuttgart untersucht wird, vertritt *O. Fauser* die Ansicht, daß bei der Planung von Beregnungsanlagen mehr Gewicht auf die physikalische Beschaffenheit des zu beregnenden Bodens gelegt werden soll. Diese Anregung ist voll zu unterstützen. Aus diesen Gründen lautet auch Nr. 1 meines *Entschließungsantrags* wie folgt:

«Da die kulturtechnische Abwasserverwertung eine starke und mannigfaltige Beeinflussung des Bodenprofils zur Folge hat, ist vor der Planung, sowie auch beim Betrieb von Abwasserbewässerungsanlagen die Vornahme eingehender Bodenuntersuchungen von grundlegender Wichtigkeit für den landwirtschaftlichen Erfolg.»

## II.

*1. Die Technik der Wasserverteilung steht heute auf einer bemerkenswert hohen Stufe.*

Sowohl auf dem Gebiet der Beregnung, wie auch der verschiedenen Verfahren der Oberflächenbewässerung sind in den letzten Jahren bedeutende Fortschritte erzielt worden. Nicht nur in Europa, sondern auch in anderen Erdteilen wurde die Beregnungstechnik verbessert. Dies geht hervor aus den Referaten von *Petrov* «Irrigation

par aspersion en URSS» (S. 232) und Staebner «Supplemental irrigation in the Eastern United States of America» (S. 241). In seiner Arbeit, betitelt «Künstlicher Regen und seine Wirkungen auf Boden und Pflanze» (S. 177), wo grundlegend bewiesen wird, daß Naturregen und Kunstregen nicht gleichwertig sind, äußert Freckmann Bedenken hinsichtlich der bodenverschlämmenden Wirkung der fallenden Tropfen bei der Feldberegnung. Wie Petrop berichtet, scheinen besonders in Rußland beim Betrieb von Weitstrahlregnern die Bodenoberfläche abdichtende Vorgänge beobachtet worden zu sein. Auf dem Gebiet der Oberflächenbewässerung sind durch die englisch-amerikanische Bewässerungstechnik die moderneren Verfahren der Flächenrieselung (border irrigation) und der Rillenbewässerung (corrugation irrigation) verbreitet worden. Die genannten Bewässerungsmethoden eignen sich im Rahmen der landwirtschaftlichen Abwasserverwertung besonders gut für die Abwasserverteilung auf leichteren Böden.

2. *Bei der Wahl des Bewässerungsverfahrens ist den jeweils vorliegenden Verhältnissen hinsichtlich Boden, Oberflächengestalt, Terraingefälle, Wassermenge, Kulturart, Wasserzuteilung und Wirtschaftsweise in vermehrtem Maße Rechnung zu tragen.*

Nach der Lage der Verteilungseinrichtungen für das Bewässerungswasser können die Bewässerungsverfahren in die Untergrundbewässerung, die Oberflächenbewässerung und die Beregnung eingeteilt werden. Die Untergrundbewässerung scheint sich für die Verteilung von Abwasser nicht besonders gut zu bewähren. Carl weist in der Arbeit «Aufgaben und erste Ergebnisse der Forschung auf dem Gebiete der landwirtschaftlichen Abwasserverwertung» (S. 191) darauf hin, daß bei Untergrundversickerungsanlagen für das Abwasser nach einer Reihe von Jahren Verschlämmungen der Sickerstränge eintraten. In Europa ist bei der Oberflächenbewässerung der Stauberieselung ein viel zu breiter Anwendungsbereich eingeräumt worden. Die Bewässerungstechnik arider Länder ersetzt die Staubewässerung (check irrigation, basin irrigation) immer mehr durch andere Verfahren. Die Stauberieselung verleitet zur Überbewässerung und zieht die damit verbundenen nachteiligen Folgen für den Boden und die Vegetation nach sich. Es wird deshalb von Carl die Stauberieselung bei der landwirtschaftlichen Abwasserverwertung nur für die Beschickung von Entlastungsflächen empfohlen. Auch Zunker kritisiert in seiner Arbeit «Die Abwasserverwertung in Deutschland» (S. 217) die alten Rieselfeldbetriebe und lehnt sie ab. Die künstliche Beregnung muß als jenes Bewässerungsverfahren angesprochen werden, das den Anforderungen von Pflanze und Boden sehr weitgehend gerecht wird. Die Beregnung eignet sich, wie die gesammelten Erfahrungen beweisen, besonders gut für die Verteilung von Abwasser.

3. *Die landwirtschaftliche Abwasserverwertung verlangt eine weiträumige Verteilung des Abwassers. Es soll nicht mit übermäßigen Wasserhöhen gearbeitet werden.*

Da bei den Rieselfeldern anläßlich ihrer Erstellung mehr an eine Beseitigung als an eine Ausnützung der Abwassermengen gedacht

worden ist, widersprechen die alten Rieselfeldbetriebe meistens den Anforderungen einer modernen Bewässerung. Selbst in Gebieten mit ausgesprochenem Trockenklima ergeben wissenschaftlich angelegte Bewässerungsversuche, daß jährliche Wasserhöhen von über 1 Meter bei einer zweckmäßig vorgenommenen Bewässerung durchaus nicht nötig sind. Demgegenüber werden auf vielen Rieselfeldern Wassersäulen von mehreren Metern Höhe aufgebracht. Daß eine solche Überbewässerung schädlich wirken kann, bezeugt die Arbeit von *Rolley* «Les conditions de l'irrigation dans les champs d'épandages de la ville de Paris» (S. 244), wo über Salzsäden auf den Rieselfeldern von Paris berichtet wird. Besonders *Zunker* spricht deshalb einer weitflächigen Abwasserverteilung das Wort und weist darauf hin, daß die ersten Kubikmeter Abwasser wirksamer sind als die nachfolgenden. Je nach den speziellen Verhältnissen abgestuft, werden für Mitteleuropa jährliche Abwasserhöhen von 10—80 cm vorgeschlagen, wobei die Frage einer künstlichen Anreicherung von Grundwasservorkommen durch die Abwasserbewässerung in einzelnen Fällen Einfluß auf die Wahl einer erhöhten Bewässerungsmenge haben kann. Die Nr. 2 meines *Entschließungsantrags* hat deshalb folgenden Wortlaut:

«Die moderne kulturtechnische Abwasserverwertung verlangt eine weiträumige Verteilung des Abwassers und damit eine mäßige Belastung des Bodenprofils. Die Abwassergabe erfolgt zweckmäßig, unter Ausschluß der Stauverfahren, auf dem Wege der Feldberegnung.»

### III.

#### *1. Eine Vorbehandlung des Abwassers ist bei der landwirtschaftlichen Abwasserverwertung unnötig.*

Es wird heute sehr oft von seiten der Abwasserfachmänner die Ansicht vertreten, einer landwirtschaftlichen Abwasserverwertung habe eine technische Vorbehandlung in Absetzbecken, oder besser noch in biologischen Reinigungsanlagen, voranzugehen. Besonders in den U. S. A. wird, wie *Hutchins* in seinem Referat «Sewage irrigation in the Western United States» (S. 237) zeigt, sehr wenig Abwasser ohne Vorbehandlung in der Landwirtschaft verwendet. Es hängt dies damit zusammen, daß der Amerikaner hygienische Nachteile durch die Abwasserbewässerung befürchtet. Trotz jahrzehntelangen Erfahrungen mit Rieselfeldbetrieben liegt heute noch kein Tatsachenmaterial vor, das die Abwasserverwertung in der Landwirtschaft der Verbreitung von Krankheiten bezichtigen könnte. Es erscheint dennoch wertvoll, die Rolle des Bodens bei der Fixierung pathogener Keime genauer zu untersuchen. Vom Standpunkt der Abwasserbewässerung genügt, wie *Zunker* zeigt, eine Rechenanlage, und bei Mischkanalisation ein zusätzlicher Sandfang. Bei kurzer Zuleitung des Abwassers nach dem Verwendungsgebiet wird zweckmäßig ein Emscherbrunnen mit kurzer Aufenthaltsdauer für das Abwasser vorgeschaltet. Es scheint festzustehen, daß die Wirkung von biologisch gereinigtem Abwasser auf die Vegetation nicht so günstig ist wie diejenige ungereinigten Abwassers. Die in den U. S. A. ge-

sammelten Erfahrungen beweisen, daß die Abwasserbewässerung unwirtschaftlich werden kann, wenn teure Vorbehandlungen der landwirtschaftlichen Abwasserverwertung vorangehen.

*2. Sowohl bei der Feldberegnung, wie auch bei der landwirtschaftlichen Abwasserverwertung spielt die Temperatur des Bewässerungswassers eine bedeutende Rolle.*

In den Anwendungsgebieten der Zusatzbewässerung kommt immer mehr die Einsicht auf, daß hier die Bewässerung nicht nur eine Aufgabe der künstlichen Anfeuchtung, sondern auch eine solche wärmetechnischer Art ist. Kaltes Bewässerungswasser hat Wärmeverluste im Boden und damit eine Ertragsverminderung zur Folge. Um ein Beispiel aus der Schweiz zu nennen, führen zum Teil seit Jahrhunderten die sogenannten Wasserfuhren im Kanton Wallis das Bewässerungswasser von der Gletscherregion auf kilometerlangem Wege an den Verwendungsort. Auf seinem langen Wege hat das ursprünglich sehr kalte Wasser genügend Zeit, um sich zu erwärmen. Als in Visperterminen der Gebäudemdurchstich ausgeführt war, ein Stollen von 2600 m Länge, der die vielen Kilometer langen Nivenwasserfuhren zu ersetzen hatte, da beobachteten die Bauern jener Gegend merkbare Mindererträge. Da sich das kalte Wasser auf dem neuen, viel kürzeren Wege nicht mehr genügend zu erwärmen vermochte, litt der Boden und damit die Kulturen unter Wärmeverlusten. Auch *Freckmann* weist darauf hin, daß nach seinen Beobachtungen kaltes Wasser einen Boden bis zu etwa 30° C abkühlen und damit je nach Pflanzenart einen mehr oder weniger hemmenden Einfluß auf das Wachstum ausüben könne. Es wäre wünschenswert, den Temperatureinfluß des Wassers bei der Bewässerung durch weitere Versuche noch genauer zu erforschen. Dies um so mehr, weil bei der landwirtschaftlichen Abwasserverwertung die Eigentemperatur des Abwassers eine hohe ist und damit eine günstige Wirkung auf die Vegetation zu erwarten ist.

*3. Die Wirkung der Abwasserbewässerung wird durch die Azidität des Abwassers mitbestimmt.*

Die Wasserstoffionenkonzentration des Porenwassers im Boden hat einen bedeutenden Einfluß auf das Verhalten der Kulturpflanzen. Es gibt sowohl pH-Werte, bei denen bestimmte Kulturen am besten gedeihen, als auch solche, bei welchen sie Schaden leiden. Auch die Bakterientätigkeit im Boden, die für den Abbau der organischen Stoffe wichtig ist, wird durch die Azidität des Bodens mitbeeinflußt. Durch das Aufbringen von Abwasser können vom Standpunkt der Azidität aus starke Wirkungen auf Boden und Pflanze ausgelöst werden. Es ist auf Rieselfeldern wiederholt beobachtet worden, daß durch das Einleiten stark saurer industrieller Abwasser schwere Pflanzenschäden entstehen können. Wie *Zunker* zudem zeigt, liegt eine Regulierung des Abwasserabbaues im Boden durch künstliche Änderung des pH-Wertes des Abwassers bei der landwirtschaftlichen Abwasserverwertung im Bereich der Möglichkeit.



## Diskussion.

**Freckmann:** In Deutschland spielt die Beregnung mit Reinwasser mindestens die gleiche Rolle wie die Beregnung mit Abwasser. Deshalb möchte ich bitten, die Reinwasserberegnung in der auf Seite 581 unter Nr. 3 enthaltenen Form in die EntschlieÙung hineinzunehmen.

**Mitscherlich:** Ich möchte vorschlagen, bei der Anstellung von Abwasserverwertungsversuchen zunächst die chemischen Wachstumsfaktoren der Pflanzen dadurch auszuschalten, daß man stets zusammen mit dem Abwasser eine starke Düngung von Kali, Phosphorsäure und Stickstoff verabfolgt, damit die verschiedenen Verhältnisse nicht derart kompliziert werden, daß ein Vergleich der Ergebnisse und damit überhaupt eine Weiterverarbeitung zur Unmöglichkeit wird.

**Zunker:** Die Ansicht von Herrn Dr. *Carl*, daß noch keine zuverlässigen wissenschaftlichen Ergebnisse über die Abwasserverregnung vorliegen, ist unzutreffend. Es liegen nicht nur die vieljährigen Versuchsergebnisse von Schebitz in einer Reihe von Aufsätzen vor, sondern auch von anderer Seite sind wertvolle Veröffentlichungen über Versuche mit der Abwasserverregnung erschienen. Es würden nicht so zahlreiche Abwasserverregnungsanlagen ausgeführt werden, wenn die kulturtechnische Wissenschaft nicht bereits bahnbrechend auf diesem Gebiet gewesen wäre. Wenn Herr Dr. *Carl* weiter sagt, daß Schäden auf Rieselfeldern nicht beobachtet worden sind, und daß deshalb bei dem angeblichen Mangel an Versuchsergebnissen zunächst mit Wahrscheinlichkeit anzunehmen sei, es würden auch bei der Abwasserverregnung keine Pflanzenschäden auftreten, so ist wohl das letztere, nicht aber das erstere zutreffend. Auf den Rieselfeldern, jedenfalls jenen in Breslau, bringt Getreide im allgemeinen einen Minderertrag, auch die Rüben weisen häufig Schäden auf, und die Wiesen sind meistens stark verunkrautet. Auf vielen Rieselflächen ist ferner die Adsorptionskraft des Bodens offenbar schon so weitgehend abgesättigt, daß das Abwasser nahezu ebenso schmutzig aus den Dränausläufen ausfließt, wie es auf die Flächen aufgebracht wird. Derartige Schäden treten jedoch bei der Abwasserverregnung, wie meine langjährigen Versuche erwiesen haben, nicht auf. Zwar verlangen im Jugendstadium der Entwicklung besonders die luftbedürftigen Rüben eine vorsichtige Beregnung.

Aus den Abhandlungen geht hervor, daß die Beregnung als das beste Verfahren für die Abwasserverwertung anzusehen ist. Die Überstauung ist als Ergänzungsverfahren zu betrachten, das besonders bei stärkerem Frost in Frage kommt. Die Verrieselung des Abwassers kann bei geneigter Geländeform in beschränktem Umfang ebenfalls zweckmäßig sein. Jedoch kommt es darauf an, den Humus des Abwassers möglichst weitgehend auszunutzen, ihn möglichst gleichmäßig auf möglichst große Flächen zu verteilen, um die Fruchtbarkeit des Landes zu erhalten und zu erhöhen, und diese bestmögliche Ausnutzung kann nur durch Abwasserverregnung erreicht werden. Ich schlage deshalb vor, dem letzten Satz von Nr. 2 der EntschlieÙung

folgende Fassung zu geben: «Die Abwasserverwertung erfolgt zweckmäßig hauptsächlich durch Feldberegnung.»

**Blanc:** Il n'est pas question dans le deuxième paragraphe du projet de résolution de l'irrigation par infiltration, par rigoles superficielles ou raies, ce procédé est celui employé en France pour l'utilisation des eaux usées de l'agglomération parisienne et a toujours donné de bons résultats; je demande donc que la conclusion soit modifiée comme suit: «Cette répartition doit se faire de préférence par infiltration à la raie ou par aspersion.»

**Schildknecht:** Unter Stauverfahren verstehe ich, daß eine mit Erddämmen umgebene Fläche in ihrer ganzen Ausdehnung unter Luftabschluß bewässert wird, also das, was man als Überstauung und als Stauberieselung bezeichnet. Was ich ausgeschlossen haben wollte, ist, daß man eine Fläche mit Abwasser hoch überstaut, weil das unter allen Umständen fehlerhaft ist. Selbstverständlich sind neben der Beregnung, die ich für das beste Verfahren der landwirtschaftlichen Abwasserverwertung halte, auch andere Bewässerungsverfahren, wie z. B. die Furchenrieselung für die Bewässerung mit Abwasser geeignet. Meine Ablehnung der Stauverfahren bezog sich allein auf die landwirtschaftliche Verwertung des Abwassers. Überstaute Entlastungsflächen sind unter Umständen nötig, aber bei solchen handelt es sich um Bodenfiltration, die mit der landwirtschaftlichen Bewässerung nichts mehr zu tun hat.

Nach einer eingehenden Aussprache über die zweckmäßigste Fassung des letzten Satzes von Nr. 2 des Entschließungsantrags, an der sich die Herren *Ramsauer, Ochler, Carl, Janert, Brüne, Zunker, Schildknecht* und *Baumann* beteiligten, wurde die *Entscheidung zum Punkt Feldberegnung, Abwasserverwertung* in dem auf Seite 581 in deutscher, auf Seite 585 in französischer und auf Seite 589 in englischer Sprache wiedergegebenen Wortlaut einstimmig angenommen.

### **Unterirdische Bewässerung. -- L'irrigation souterraine.**

#### **Subterranean irrigation.**

Abhandlungen Nr. 29 --33, Seite 251 --268.

**Blanc** comme rapporteur général: Dans son rapport (p. 260), Monsieur le Professeur *Janert* en posant le problème de l'irrigation souterraine déclare inacceptable la solution qui consiste à utiliser des tuyaux de drainage en raison de la mauvaise répartition de l'eau que l'on obtient. M. *Janert* précise même que l'on ne peut pas mettre sur le même rang l'irrigation par les drains et l'irrigation souterraine telle qu'on la comprend et qu'on s'efforce de la réaliser aujourd'hui.

L'auteur indique ensuite que le procédé, quoique très amélioré, du tube poreux posé à la main (système dit d'Avignon) a également des inconvénients en raison de l'existence, au voisinage immédiat du tuyau, de terre meuble, alors que selon lui il est de beaucoup

préférable d'avoir un contact interne entre la cloison poreuse qui laisse passer l'eau uniformément et le terrain en place.

Dès lors, Monsieur le Professeur *Janert*, pour réaliser ce contact interne propose la construction directe au sein même du sol en place, d'un tube à paroi poreuse. Il préconise pour cela une machine appelée «Tubator» qui est en quelque sorte une charrue draineuse associée à un dispositif qui tapisse de béton poreux la paroi de la galerie ouverte par l'obus de la machine.

De cette façon on réalise une conduite souterraine continue dont la paroi poreuse est en contact interne avec le sol en place.

Monsieur le Professeur *Janert* décrit la machine dont il donne un dessin et une photographie, il donne également une photographie d'un tuyau, fabriqué par le «Tubator» et dégagé de la terre. Ce tuyau continu a d'ailleurs fort bel aspect.

L'auteur a également dosé l'humidité du sol en différents points d'un plan vertical perpendiculaire à une de ses conduites souterraines en fonctionnement, et en joignant ensuite, sur le papier, les points d'égale humidité, il a obtenu des courbes qui rappellent des ellipses concentriques dont la conduite occupe le centre, et dont le grand axe est horizontal.

Enfin, passant au côté économique de la question, Monsieur le Professeur *Janert* chiffre à un prix oscillant entre 0 f, 80 et 1 f, 20 le mètre de conduite construite par le «Tubator», il affirme que ce nouveau procédé revient bien meilleur marché que celui qui consiste à poser à la main des tuyaux dans une tranchée précédemment ouverte et qu'il faut remblayer, et enfin, il indique les résultats déjà obtenus quant à l'accroissement de récolte provoqué par son système d'irrigation. Ces résultats sont effectivement fort intéressants puisque l'augmentation de récolte constatée en Allemagne sur différents terrains, au cours des années 1933, 1934 et 1936 a varié :

pour la betterave de 26% à 123%,  
pour la pomme de terre  
de 22% à 171% en tubercules,  
de 34% à 192% en amidon.

Dans la première partie de leur travail (p. 251), Messieurs *Bordas* et *Mathieu* complètent en quelque sorte les indications contenues dans la thèse de M. *Mathieu* sur l'irrigation souterraine (1932) en donnant les résultats de leurs derniers essais effectués de 1932 à 1936 avec le système dit «d'Avignon».

Ils arrivent à cette conclusion que l'irrigation souterraine continue avec tuyaux poreux posés à la main a *presque doublé* les rendements *par rapport à l'irrigation superficielle* et ceci *sans diminuer la qualité de la récolte*.

C'est évidemment une conclusion d'importance si l'on songe que dans la région d'Avignon l'irrigation superficielle donne déjà elle-même d'excellents résultats.

Il n'est pas possible, comme l'a fait Monsieur le Professeur *Janert* pour les essais d'Allemagne, de comparer les récoltes obtenues avec l'irrigation souterraine à ceux que donne une culture sans irrigation,

car en Provence, pour les cultures maraichères auxquelles on se réfère, l'irrigation est toujours indispensable.

Dans la deuxième partie de ce rapport (p. 255), Monsieur *Mathieu* indique que malgré les résultats obtenus, l'irrigation souterraine par le procédé «d'Avignon» ne s'est pas répandue en raison de son prix de revient trop élevé: 20.000 fr. par hectare.

Il a donc essayé, par raison d'économie, et sur notre conseil, de remplacer les conduites continues faites de tuyaux poreux réunis par des joints au ciment, par des conduites discontinues réalisées par de vulgaires tuyaux de drainage placés bout à bout.

Un tel dispositif dit «système de Cavaillon» a été réalisé, avec des drains de 5 cm placés à 0 m 40 de profondeur et écartés de 2 m 00, chez Monsieur *Jules Grand*, Président du syndicat agricole de Cavaillon.

L'eau était donnée, non plus continuellement comme dans le système d'Avignon, mais périodiquement, tous les 7 jours environ sous une pression de 0 m 15 à 0 m 20.

Dans deux rapports présentés respectivement en octobre 1934 et novembre 1936, Monsieur *Grand* s'est déclaré complètement satisfait des résultats obtenus.

Tout en réalisant, par rapport à l'irrigation superficielle une économie d'eau des deux tiers, il a obtenu avec des melons des rendements que Monsieur *Mathieu* dit deux ou trois fois plus élevés que ceux donnés par l'infiltration superficielle.

Monsieur *Grand* a par ailleurs constaté sur ce dernier système d'irrigation les autres avantages suivants:

régularité parfaite de la végétation, maturation avancée, absence de maladie, maintien en surface d'une couche meuble qui rend les façons culturales moins pénibles.

Des essais du même ordre et également satisfaisants furent exécutés en 1935 et 1936 chez Monsieur *Marius Jeune* à Cavaillon, confrontés avec ceux obtenus par Monsieur *Grand*, ils ont permis à Monsieur *Mathieu* de conclure que l'irrigation souterraine discontinue par le système de Cavaillon était nettement supérieure à l'irrigation superficielle, plus pratique et plus économique que l'irrigation continue par le système d'Avignon.

Enfin, dans la troisième partie de ce travail (p. 258), Monsieur *Bordas* indique qu'en associant l'irrigation souterraine au chauffage du sol à l'aide d'une résistance électrique il a pu hâter grandement la germination sous chassis de certaines graines maraichères.

Le procédé permet de gagner 15 jours ou 3 semaines sur le repiquage des jeunes plantes, ce qui, dans une région de primeurs, a du point de vue économique une grande importance.

Il est particulièrement heureux que ces rapports soient présentés en même temps car ils fournissent matière à discussion.

Les conclusions de Monsieur le Professeur *Janert* quant à l'irrigation discontinue par tuyaux de drainage sont en effet en désaccord avec les résultats obtenus par Monsieur *Mathieu*.

Monsieur le Professeur *Janert* base son argumentation sur la nécessité «de ne pas introduire dans la terre plus d'eau qu'elle ne peut en absorber et en conserver capillairement» et il en déduit que

l'irrigation par tuyaux de drainage est mauvaise parceque ces derniers ne se prêtent pas à un « dosage de l'eau très soigneux et absolument garanti » et qu'ils débitent de l'eau jusqu'à ce que la terre soit « complètement détrempée » et que par suite, on n'aura plus une répartition de l'eau « exclusivement capillaire ».

Si nous sommes d'accord sur le principe même posé par Monsieur le Professeur *Janert*, nous devons dire que nous ne le suivons pas dans ses conclusions.

En ce qui concerne le dosage de l'eau, en effet, si on utilise des tuyaux de drainage bien faits et bien posés, les surfaces cylindriques de sortie de l'eau qui sont constituées par les lumières subsistant entre deux tuyaux successifs sont comparables, et comme celles ne sont distantes les unes des autres que de 0 m 33 elles assurent sous une charge à peu près constante une répartition à peu près uniforme.

Nous disons « sous une charge à peu près constante » parce qu'en effet la charge diminuera de l'origine à l'extrémité de la file. Pour réduire l'incidence de cette variation, il suffira de réduire la longueur des files.

En ce qui concerne le second point, alimentation trop considérable qui donnerait de la terre détrempée, c'est-à-dire en définitive de l'eau « mobile » au lieu d'eau « capillaire », les choses pensons nous se passeront de la façon suivante: il se créera tout autour de la file de drains un manchon de terre contenant de l'eau mobile qui se trouvera en contact intime avec les canaux capillaires de la masse de terre laissée intacte.

Ce manchon de terre détrempée abandonnera donc immédiatement son eau mobile qui se déplacera par capillarité dans la zone à irriguer.

Il suffira, pour que le sol ne souffre pas d'un excès d'eau, que l'épaisseur de ce manchon d'eau mobile ne soit pas trop considérable, c'est-à-dire que le débit donné et la durée de l'arrosage soient judicieusement limités.

Il ne nous paraît donc pas que l'on puisse, des observations théoriques formulées dans le rapport, tirer des arguments condamnant définitivement l'irrigation souterraine par tuyaux de drainage.

Par ailleurs, les faits sont là: ce système a donné en Provence de très bons résultats.

Monsieur le Professeur *Janert* se déclare ensuite beaucoup mieux impressionné par le système d'irrigation continue par tuyaux poreux dit « d'Avignon », mais il pense que ce système donne encore des résultats insuffisants en raison des conséquences néfastes du mode de pose à la main qui exige le creusement et ensuite le comblement de la tranchée dans laquelle se trouve le tuyau.

Estimant, en effet, « qu'une terre qui tient solidement est en meilleur état pour conduire l'eau capillairement qu'un terrain meuble », Monsieur le Professeur *Janert* en conclut que sauf le long de leur génératrice inférieure en contact avec le sol en place, les tuyaux du système d'Avignon sont « enveloppés de terre meuble qui s'imbibe progressivement d'eau et qui forme une masse pâteuse interceptant tout mouvement de l'eau ».

Ici encore nous devons déclarer que nous ne partageons pas l'opinion de l'auteur.

Il est bien exact en effet que le sol « en place » le sol qui a conservé intacte sa « structure » donc ses canaux capillaires, conduit mieux l'eau qu'un terrain meuble *sec*, mais ce qui entoure le tuyau, comme le précise bien Monsieur le Professeur *Janert*, c'est un terrain meuble *complètement imbibé*, c'est-à-dire *gorgé d'eau mobile*, et, à notre avis, loin d'intercepter le mouvement de l'eau, cette masse de terre contenant de l'eau mobile le favorisera, elle se comportera à ce point de vue de façon plus favorable qu'une masse de terre en place: en effet un terrain qui a conservé intacts ses canaux capillaires *conduit* bien l'eau s'il est lui-même alimenté en eau par ailleurs, mais il la *retient* s'il n'est pas alimenté.

Au contraire une masse de terre meuble gorgée d'eau mobile *abandonnera* cette eau mobile même si elle n'est plus alimentée.

On pourra la considérer comme un réservoir d'eau disponible.

Dans ces conditions, les choses se passeront comme nous l'avons déjà indiqué pour les tuyaux de drainage: le tuyau poreux sera entouré rapidement d'un manchon de terre contenant de l'eau mobile et c'est à partir de ce manchon que se fera dans le sol la diffusion par capillarité.

Ce manchon d'eau mobile en effet apparaîtra nécessairement car l'irrigation se fait sous une charge légère. C'est là un point que nous croyons bon de signaler car dans son rapport, Monsieur le Professeur *Janert* envisage l'irrigation « sans qu'il se produise de surpression ». En fait, dans le système d'Avignon, l'irrigation a toujours été donnée *sous une légère pression*, Monsieur *Mathieu* l'a plusieurs fois précisé dans sa thèse et dans ses rapports.

Enfin, pour en terminer avec le mode de pose à la main des tuyaux poreux, tournons nous vers l'expérience: comme pour l'irrigation avec tuyaux de drainage, les faits sont probants, le système d'Avignon tel qu'il a été pratiqué en Provence a donné d'excellents résultats.

Nous croyons donc sage de ne pas condamner deux procédés d'irrigation souterraine qui ont déjà donné en pratique, et depuis plusieurs années, des résultats indiscutablement favorables.

Cela d'ailleurs n'enlève rien au mérite de l'inventeur de la nouvelle machine dite « *Tubator* », dont Monsieur le Professeur *Janert* veut bien nous entretenir.

Sans aucun doute, il s'agit là d'une machine fort ingénieuse et qui d'après la photographie jointe au rapport exécute dans le sol un tuyau ayant fort bel aspect.

Avec cette machine on a réalisé des irrigations souterraines donnant de très importantes augmentations de récolte.

Monsieur le Professeur *Janert* a représenté graphiquement la répartition de l'humidité dans un plan vertical autour d'un tuyau d'irrigation. Les courbes données sont fort intéressantes, l'allure du phénomène de transmission de l'humidité tel que le fait apparaître l'examen de ces courbes concorde tout à fait avec les résultats de premières expériences entreprises récemment à la Station expérimentale

d'Hydraulique agricole et de Génie rural de Paris par M. *Laferrère* au sujet de l'irrigation souterraine.

Nous devons en définitive savoir gré à Monsieur le Professeur *Janert* et le remercier d'avoir bien voulu nous présenter le «Tubator».

Toutefois, nous nous permettrons de faire une remarque concernant l'économie de l'appareil.

Nous ne mettons certes point en doute le prix de revient de 0,10 à 0,15 *fr*/ le mètre courant de conduite, donné par l'auteur du rapport, mais nous devons signaler que ce prix de revient doit considérablement varier avec les conditions d'utilisation, il dépend en effet du prix de l'appareil, au sujet duquel Monsieur le Professeur *Janert* n'a pas donné de précision, de sa consommation d'énergie, donc de sa puissance, que nous aimerions également connaître et enfin des possibilités d'amortissement, et sur ce dernier point les conditions culturales locales ont une incidence prépondérante.

L'irrigation souterraine, en effet, sera toujours une amélioration foncière continue, qui ne sera donc possible que pour des cultures très rémunératrices.

En France il semble bien qu'elle soit réservée, pour longtemps encore, aux cultures maraîchères.

Or, dans notre pays, les cultures maraîchères se font dans la majorité des cas sur des terrains très morcelés et ce sont là des conditions d'amortissement très défavorables à l'utilisation d'un matériel aussi considérable que le «Tubator».

Il est donc permis de se demander ce que deviendrait dans notre pays le prix de revient précédemment rappelé.

Nous espérons que des précisions numériques complémentaires pourront nous être données: prix, puissance, main d'œuvre, qui permettront dans chaque cas particulier d'établir le bilan prévisionnel d'utilisation.

Ainsi donc nous voici en possession de solutions satisfaisantes du problème de l'aménagement de l'irrigation souterraine: Tubator, tuyaux poreux ou tuyaux de drainage posés à la main.

Mais si nous sommes bien renseignés sur la technique de la réalisation, nous le sommes beaucoup moins sur la théorie de cette irrigation qui doit servir de base à la conception de tout projet rationnellement étudié.

Nous ne disposons pas en effet de relations pratiquement utilisables, comme celles actuellement établies pour le drainage, entre l'écartement des conduites, leur profondeur, et les caractéristiques du sol et de l'irrigation à donner.

Des recherches sont entreprises dans ce sens, comme nous l'avons signalé plus haut, à la Station expérimentale d'Hydraulique agricole et de Génie rural de Paris, elles vont être poursuivies activement sur un champ d'expériences qui est en voie d'aménagement près d'Avignon avec la collaboration de la Station agronomique d'Avignon, du Service local du génie rural et de notre Station expérimentale. Ces expériences seront faites sur plusieurs parcelles irriguées avec des tuyaux de drainage disposés à différents écartements, nous essayerons de dégager les lois d'une irrigation souterraine bien conduite

en fonction des nécessités agricoles locales et des caractéristiques hydrodynamiques des sols telles qu'elles ont été internationalement définies à Madrid en 1935, et auxquelles il y aurait intérêt à rattacher si possible d'autres paramètres utilisables, comme la force de succion.

De nouvelles méthodes de détermination des caractéristiques hydrodynamiques pourront d'ailleurs être essayées comme par exemple celle proposée par Monsieur *Dupau*, Ingénieur en Chef du Génie rural à Marseille, qui pense utiliser comme critère les variations de la résistivité d'un sol en fonction de l'humidité.

Il y aurait intérêt à ce que des études du même ordre fussent entreprises dans d'autres pays pour que nous puissions disposer le plus rapidement possible de formules rationnellement établies et pratiquement utilisables.

Comme conclusion nous avons l'honneur de proposer à la 6<sup>e</sup> Commission le *projet de résolution* que voici: (voir p. 585).

### Diskussion.

**Janert:** Herr Prof. *Blanc* hat die gewaltigen Erfolge unterstrichen, die mit der Untergrundbewässerung erzielt werden können. Es ist tatsächlich eines der interessantesten Probleme, die wir gegenwärtig zu behandeln haben. Es ist natürlich, daß auf diesem Gebiete noch viele Fragen offen stehen, die noch geklärt werden müssen, so die Frage der kapillaren Wasserverteilung. Wir sind jetzt in der Lage, mit der Maschine Röhren zu erstellen, die außerordentlich porös sind. Das sind aber alles sekundäre Fragen. Wesentlich ist, daß es überhaupt gelingt, die Röhren maschinell herzustellen und dadurch erheblich zu verbilligen. Denn das Heikelste an der Untergrundbewässerung ist die Kostenfrage.

Herr Prof. *Blanc* hat nähere Angaben über die Kosten vermißt. Wir haben hierüber noch nicht sehr umfangreiche Erfahrungen. Bis jetzt ist nur eine einzige Maschine hergestellt worden. Der angegebene Preis ist auf Grund unserer bisherigen Erfahrungen für eine Arbeitszeit von 150 Tagen im Jahr berechnet worden.

**Laferrière** zeigt als Ergänzung der Ausführungen von Prof. *Blanc* einige Lichtbilder über die unterirdischen Bewässerungsmethoden in den ariden Gebieten Südfrankreichs.

Hierauf wird die von *Blanc* vorgeschlagene *Entschließung zum Punkt unterirdische Bewässerung*, die auf Seite 585 in französischer, auf Seite 581 in deutscher und auf Seite 589 in englischer Sprache wiedergegeben ist, einstimmig angenommen.



**Einwirkung der Kulturtechnischen Maßnahmen auf die Bewegung der Salze im Boden. — L'influence des travaux d'amélioration du sol sur le mouvement des sels dans le sol. — Effect of land amelioration measures on the movement of salts in the soil.**

Abhandlungen Nr. 34—35, Seite 271—275.

**Schildknecht** als Hauptberichterstatter: Die Überbewässerung ist eine der größten Schadenquellen im Bewässerungsbetrieb arider Klimagebiete. Infolge älterer, unzureichender Wasserverteilungsgesetze einerseits und der falschen Einstellung in der Bewässerungspraxis andererseits, den Rotertrag durch übermäßige Wassergaben erhöhen zu wollen, können bei der Bewässerung ganz gewaltige Wasserverluste entstehen. So weist beispielsweise *Jessup* in seiner Arbeit «Irrigated lands require drainage» (S. 271) darauf hin, daß in verschiedenen Bewässerungsdistrikten der Vereinigten Staaten von Nordamerika durch zu starke Bewässerungsgaben der Grundwasserspiegel sich im Verlaufe weniger Jahre um über 50 Fuß bis nahe an die Bodenoberfläche gehoben hat. Dies hat vorerst eine Versumpfung der betroffenen Ländereien zur Folge. Viel schwerwiegender ist aber der Umstand, daß durch die Einwirkung von Kapillarität und Verdunstung eine Salzanreicherung in den obersten Bodenhorizonten zustande kommt. Durch Akkumulierung von Chloriden, Sulphaten, Karbonaten und Nitraten des Natriums, des Magnesiums, des Kalziums und des Kaliums entstehen die kulturunfähigen Alkaliböden. Aber nicht nur die übermäßige Bewässerung vermag auf die Salzbewegung arider Böden ungünstig einzuwirken, sondern es kann, wie *Taylor* in seiner Abhandlung «Effect of land amelioration measures on the movement of salts in the soil» (S. 275) beweist, schon die maschinelle Bearbeitung des Kulturlandes eine ungleichförmige Wasserbewegung im Boden nach sich ziehen. Dadurch wird auch die Salzbildung mitbeeinflusst. *Taylor* hat in Citruspflanzungen Südkaliforniens, die zum Teil auf dem Wege der Checkbewässerung, zum Teil durch Furchen bewässert worden sind, Untersuchungen über die Verdichtung des Bodens durch Maschinenarbeit vorgenommen. Es stellte sich heraus, daß der Boden zwischen den Baumreihen sehr stark komprimiert worden ist. Damit ergab sich bei der Furchenbewässerung, insbesondere bei der Verwendung von Querräumen (cross-furrows), eine unregelmäßige Wasserabsorption des Bodens. Absorptionsversuche von mit Wasser eingestauten Furchen zeigten, kurz zusammengefaßt, daß die Wasseraufnahmefähigkeit der Böden bis auf die Hälfte oder sogar auf ein Drittel des ursprünglichen Betrages verringert worden war. Schon bei zu großem Furchenabstand läßt sich beobachten, daß infolge der Ungleichförmigkeit der Wasserverteilung eine vermehrte Salzanreicherung zwischen den Furchen entsteht. Es muß deshalb bei der Bewässerung arider Bodenprofile streng darauf geachtet werden, den Boden möglichst gleichförmig zu durchfeuchten. Aus diesem Grunde sind auch tiefe Bewässerungsfurchen in Baumpflanzungen, wie sie zwecks Verminderung der Verdunstungsverluste früher allgemein zur

Anwendung kamen, in der Neuzeit durch Furchen von meistens nur 4 Zoll Tiefe ersetzt worden. Um die Verdichtung der Böden möglichst einzuschränken, werden die maschinellen Eingriffe, insbesondere bei nasser Bodenoberfläche, auf ein Minimum reduziert. Zusammenfassend ist zu fordern, bei der Bewässerung von Böden in ariden Klimagebieten in vermehrtem Maße auf eine möglichst gleichförmige Verteilung des Bewässerungswassers zu achten. Es bedingt dies neben einem sorgfältigen Bewässerungsbetrieb den speziellen Verhältnissen angepaßte Landbebauungsmethoden.

Wie *Jessup* entwickelt, stellt die Melioration von Alkaliböden dem Kulturingenieur eine Reihe schwieriger Probleme. Die Aufgabe besteht darin, erstens die Salze aus den obern Bodenhorizonten auszulaugen und sie anschließend aus den tiefern Bodenschichten wegzuführen. Dies läßt sich praktisch durch eine Kombination von Bewässerung und Dränung verwirklichen. Im Gegensatz zu Entwässerungsanlagen im humiden Klima ist bei der Auswaschungsdränung eine größere Tiefenlage der Systeme nötig, um die Bodenoberfläche möglichst aus dem Kapillarsaum des Grundwassers zu bringen. Die Sauger werden deshalb mindestens 5–6 Fuß tief verlegt. Hauptleitungen, die 10–15 Fuß unter der Bodenoberfläche liegen, sind durchaus keine Seltenheit. Da für den Vorgang der Auswaschung ein nicht zu undurchlässiger Untergrund Vorbedingung ist, können die Leitungen mit gegenseitigen Abständen von 440–1320 Fuß eingebaut werden. In Sand- und Kiesböden kann selbst mit Drändistanzen von einer halben Meile oder mehr gearbeitet werden. Neuerdings wird die Absenkung des Grundwassers in einzelnen Bewässerungsdistrikten der U. S. A., so im Salt River Valley und im San Joaquin Valley durch die Anlage von Pumpbrunnen erreicht. Der Anwendungsbereich dieser Methode ist aber dadurch eingeschränkt, daß das Bodenwasser in der Nähe der Bodenoberfläche und das Grundwasser der tiefer gelegenen Schichten miteinander in direkter Verbindung stehen. Fernerhin muß der Rohrbrunnen in sehr durchlässige Bodenschichten zu liegen kommen und soll bei niedrigen Pumpkosten das gehobene Wasser einen Bewässerungswert haben. Es sind deshalb zwecks Melioration von Alkaliböden an verschiedenen Orten Rohrbrunnen von 100–200 Fuß Tiefe und 25–50 Fuß Förderhöhe erstellt worden. Je nach der Bodendurchlässigkeit liegen diese Brunnen  $\frac{1}{4}$ –1 Meile voneinander entfernt. Das geförderte Wasser kann in den meisten Fällen nach Mischung mit Bewässerungswasser für Bewässerungszwecke Verwendung finden.

Angeichts der gewaltigen Schädigungen, die der Landwirtschaft durch die Überbewässerung zugefügt worden sind, ist es eine Hauptaufgabe des Bewässerungsingenieurs, immer wieder auf die nachteiligen Folgen einer übermäßigen Wassergabe hinzuweisen. Die Anregung von *Jessup*, einer vernünftigen Bewässerung durch Verbesserung der Bewässerungsmethoden zum Durchbruch zu verhelfen, statt nachträglich die eingetretenen Schäden zu beheben, ist deshalb voll zu unterstützen.

Ich komme damit zu folgendem *Entschließungsantrag*: «Da in ariden Böden durch Überbewässerung schädliche Salzanreicherungen

im Bodenprofil entstehen können, sind bei der Zuleitung und besonders bei der Verteilung des Bewässerungswassers die Wasserverluste möglichst einzuschränken.»

### **Diskussion.**

**Fausser:** Die beiden Abhandlungen beziehen sich lediglich auf Untersuchungen, die in U. S. A. angestellt worden sind. Es ist mir deshalb zweifelhaft, ob es sich überhaupt empfiehlt, auf unserer heutigen Sitzung, auf der kein amerikanischer Kollege anwesend ist, zu dem Verhandlungsgegenstand eine EntschlieÙung zu fassen.

**Zunker:** Auch in Deutschland liegen Erfahrungen darüber vor, daÙ man mit zu starker Bewässerung und Beregnung durch zu salzreiche Abwasser eine zu groÙe Salzanreicherung im Boden hervorrufen kann. Bei Bewässerung und Beregnung mit gewöhnlichem FluÙwasser ist eine schädliche Salzanreicherung nicht zu befürchten.

Die von *Schildknecht* vorgeschlagene *EntschlieÙung zum Punkt Einwirkung der kulturtechnischen Maßnahmen auf die Bewegung der Salze im Boden*, deren französischer und englischer Wortlauf auf Seite 585 und Seite 589 enthalten ist, wird hierauf einstimmig angenommen.

### 3. Sitzung der 6. Kommission

Dienstag, den 3. August 1937, 8 Uhr.

Vorsitzender: *Rolley*.

Verhandlungsleiter: *Fausser*.

60 Teilnehmer.

**Boden und Wasser. — Le sol et l'eau. — Soil and water.**

Abhandlungen Nr. 1—9, Seite 1—84.

**Zavadil** als Hauptberichterstatter: Über «Grabenentwässerung und Aufforstung im Flyschgebiet der Voralpen» teilt *H. Burger* (S. 1) folgendes mit:

Zur Verbesserung des Wasserregimes in Wildbächen des Flyschgebietes der Schweiz sind schon seit 40 Jahren Entwässerungen von Streuwiesen durch offene Gräben und Aufforstungen ausgeführt worden. In den Jahren 1930—1935 wurden sechs Einzugsgebiete untersucht.

Die Korngrößenzusammensetzung hat sich nicht verändert. Nach 25 Jahren kann der Boden schon wieder soviel Wasser aufspeichern wie im Walde. Das Raumgewicht erhöht sich, der Porenraum, der ursprünglich 80% bis 90% beträgt, nimmt ab. Die Wasserkapazität sinkt in den obersten 10 cm schon in 5—10 Jahren um 5—10%, nach 25—40 Jahren bis um 20%. Die Luftkapazität erreicht nach 25 Jahren annähernd 15—20% in 0—10 cm Tiefe, 8—12% in 20—30 cm Tiefe und 6—8% in 50—60 cm Tiefe, wie im Walde. Die Einsickerungsmöglichkeit ist nach 3—5 Jahren 3—8mal, nach 20—40 Jahren 20—50mal größer als ursprünglich. Das pH der Streuriede liegt zwischen 6,8 und 5,7. Nach 25 Jahren kann die Azidität in den obersten 10 cm um 1—1,5 pH sinken. Die Grabenentwässerung kann für landwirtschaftliche Böden nur selten in Frage kommen, es muß in solchen Fällen nachher stärker gedüngt werden als bei Röhrendränung.

Die Untersuchungen ergaben weitere Anhaltspunkte über das Gefälle der Gräben, deren Tiefe und Richtung zum Hang, über den Grabenabstand, der bei Flyschböden selten 5—7 m übersteigen darf, über den richtigen Zeitpunkt der Aufforstung nach der Entwässerung und über den Einfluß der Entwässerung auf den Wasserabfluß.

Aus der Arbeit von *Burger* geht hervor, daß der Wald zum mindesten in seinem ersten Entwicklungsstadium keine großen Mengen von saurem Wasser verträgt und deshalb sumpfiger Boden zuerst entwässert werden muß. Auch im älteren Walde werden nasse Stellen durch Gräben entwässert.

Wenn man in Wäldern oft Quellen findet, so liegt die Ursache in erster Reihe in den geologischen und pedologischen Verhältnissen,

da der Wald selbst viel Wasser verbraucht. Der hohe Wald zwingt die wasserbringenden Luftströme emporzusteigen, was für die jährliche Niederschlagshöhe natürlich nicht ohne eine gewisse Bedeutung ist.

In der letzten Zeit wird über Wasserspeicherung durch Wälder viel gesprochen; es wird nützlich sein, dieser Frage eine größere Aufmerksamkeit zu widmen. Die angeführten schweizerischen Erfahrungen sind in dieser Hinsicht von Bedeutung.

*Richardson* beschäftigt sich mit der Abschwemmung des Bodens und der Salze durch fließendes Wasser (S. 10). Die aktuellen Faktoren, welche die Erosion und die nachfolgende Fortführung der Bodenteilchen bedingen, sind die folgenden: 1. Der Geschwindigkeitsgradient  $du/dy$  senkrecht zur Fließrichtung, besonders seine Größe an der Bettsohle ( $y = 0$ ). 2. Die Art des Fließens, ob laminar oder turbulent. 3. Die Größe, die Form und das spezifische Gewicht der transportierten Bodenteilchen. 4. Die Gestalt der Flußsohle, ihre Festigkeit, ihr Gefälle und die Beschaffenheit ihrer Oberfläche.

Der Verfasser hat den Transport idealer Böden in Glaskanälen studiert; die Fließgeschwindigkeit in den verschiedenen Höhen über der Bettsohle wurde durch ein Heißdraht-Anemometer bestimmt. Zur Messung der Verteilung der transportierten Bodenteilchen wurde eine optische Vorrichtung benützt. Ein Lichtstrahl durchdringt den Kanal senkrecht zu den Glaswänden und die Absorption des Lichtes wird durch eine photoelektrische Zelle festgestellt. Die Bestimmungen der Geschwindigkeit  $U$  und der Bodenkonzentration  $s$  wurden durchgeführt. Wenn  $C$  die Sedimentierungsgeschwindigkeit und  $s$  das Gleichgewicht des Bodens in der Höhe  $y$  über der Sohle des Flußbettes bedeuten, gilt nach *Schmidt* die Gleichung:  $Cs + A \frac{ds}{dy} = 0$ .

$A$  ist der Austauschkoeffizient, der für die Beurteilung des erodierten Bodens wichtig ist. Wenn  $A$  konstant ist, dann gilt

$$A (\log s_0 - \log s) = Cy,$$

wo  $s_0$  die Konzentration an der Bettsohle bedeutet.

Der Verfasser hat auch ein künstliches Flußbett aus natürlichem Boden hergestellt und die Proben analysiert, sowie Betrachtungen über das Eindringen des fließenden Wassers in den Boden und über die Fortführung der Salze durch den Wasserstrom angestellt.

Gegen Erosion hilft: die Vergrößerung der Kohäsion der Körner, die Vergrößerung des Austauschkoeffizienten durch die Herabsetzung des Geschwindigkeitsgradienten an der Bettsohle und die Vegetation.

Die Beobachtungen von *Richardson* sind deshalb von Bedeutung, weil auch umfangreiche theoretische Studien über die Geschiebeführung der Flüsse vorliegen, so daß man beide Erscheinungen aneinander anknüpfend weiter verfolgen kann. Was die Abschwemmung der Salze durch Dränwasser anbelangt, zeigt die vorliegende Arbeit ebenso wie auch andere, daß die Verhältnisse in dieser Beziehung sehr kompliziert sind. Prof. *Ulehla* z. B. ist in seinen Studien (*Annalen der Tschechoslowakischen Akademie der Landwirtschaft* 1937, Heft 2) zu der dynamischen Bestimmung der Filtrationskurven des pH übergegangen.

*A. Feilberg* berichtet in der Abhandlung «Über die Einwirkung der Höhe des Grundwasserstandes auf die Temperatur der obersten Bodenschichten» (S. 17) über einige Untersuchungen von Prof. *Westermann*, welche eine Ergänzung zu den Beobachtungen von *Parkes* über die Einwirkung der Dränung auf die Bodentemperatur bedeuten. *Westermann* hat bei seinen Versuchen mit Lehm und Sandboden in 1,25 m tiefen Gefäßen von 0,5 m<sup>2</sup> Querschnitt den Grundwasserspiegel in den Tiefen von etwa 33, 66 und 100 cm gehalten und dabei die Temperatur in 4 cm Tiefe gemessen. Um 6 Uhr ist bei hohem Grundwasserstand die Temperatur am höchsten, wobei jedoch die Unterschiede 1° C fast nicht überschreiten. Um 11 Uhr ist das Umgekehrte der Fall. Beim Sandboden werden die Differenzen fast doppelt so groß als beim Lehm Boden. Die täglichen Temperaturschwankungen sind in der warmen Jahreszeit am größten (bis 8,5° C beim tiefsten Grundwasserstande im Sandboden). Der Wechsel der ausnutzbaren Wärmegrade fördert das Wachstum und die Stoffproduktion der Pflanzen mehr, als die entsprechende, konstant gehaltene Durchschnittstemperatur. In Mineralböden wird die Temperatursteigerung infolge der Dränung selten 2° C übersteigen. Bei Sand-, Lehm- und Moorboden waren die Temperaturschwankungen beim Grundwasserspiegel 60 cm unter der Oberfläche in der Tiefe von 15—25 cm fast gleich. Der größte Unterschied wurde in 5—10 cm Tiefe im Moorboden gefunden. Diese Resultate dürfen jedoch nicht auf Flächen übertragen werden, in denen das Grundwasser unter Druck steht. Dort wird nach der Entwässerung die Temperatur des Bodens in warmen Jahreszeiten viel stärker schwanken.

Die Abhandlung von *A. Feilberg* zeigt, wie wichtig es ist, bei der Bearbeitung neuer, umfangreicher, genau durchgeführter Bodentemperaturmessungen an die Arbeiten von Prof. *Westermann* anzuknüpfen, weil die Frage weit komplizierter ist, als man im ersten Moment erwarten kann.

Im Institut des Hauptberichterstatters sind z. B. achtjährige zusammenhängende Beobachtungen der Bodentemperatur in den Tiefen 2, 10, 40, 100 und 150 cm graphisch dargestellt worden. Dabei zeigte sich eine so große Regelmäßigkeit, wie man sie bei meteorologischen Faktoren nicht findet.

Die Arbeit «Beziehungen zwischen Boden und Wasser» (S. 24) von *Diserens* enthält zuerst Erwägungen über passende Maßeinheiten für physikalische Größen des Bodens. Im Abschnitt über die mechanische Bodenanalyse wird erwähnt, daß man durch die Methode von *Kopecký* das Höchste erreicht, was in dieser Beziehung möglich ist. Auf dieser Analyse basiert auch die schweizerische Bodenklassifikation. Dortige landwirtschaftliche Versuchsstationen geben an, daß diese Bodeneinteilung für die praktischen Zwecke genüge. *Diserens* betont in seinen Ausführungen mit Recht die Bodendynamik. Jeder kulturtechnische Eingriff hat die Entwicklung eines neuen Bodentyps zur Folge.

*Donat* widmet in der Abhandlung «Über täglich wiederkehrende Druckschwankungen im Bodenwasser» (S. 27) seine Aufmerksamkeit in erster Linie den Druckschwankungen, die unmittelbar oder mittelbar zum Wärmehaushalt des Bodens in Beziehung stehen,

durch die täglichen Luftdruckänderungen, die Wasserentnahme durch die Pflanzen und die Taubildung verursacht werden, eine Höhe bis zu einem Dezimeter und mehr erreichen können, in den Wintermonaten aber ganz verschwinden.

Die durch die Temperaturänderungen hervorgerufenen Druckschwankungen stellen eine Summenwirkung der in den einzelnen Tiefen sich abspielenden Vorgänge dar. Es wird einerseits von der Tiefenlage jener Bodenschichten, in denen sich reichliche Mengen abgeschnürter Luft vorfinden, anderseits von der Wärmeleitfähigkeit des Bodens abhängen, welche Höhe die Druckwellen erreichen und welche zeitliche Verschiebung sie gegenüber den Temperaturwellen an der Bodenoberfläche erfahren.

Wenn z. B. der Druckanstieg zur Zeit der Abkühlung des Bodens einsetzt, darf auf das Überwiegen der Tauwirkung geschlossen werden. Wenn die Tiefstlage des Standrohrspiegels den tiefsten Temperaturen der Bodenoberfläche nachhinkt, kann der Einfluß der Spannungsänderungen der abgeschnürten Bodenluft den Ausschlag geben. Die Erscheinung, daß die Höchstlage des Standrohrspiegels gegenüber dem auf die Mittagsstunden entfallenden Höchstwert der Oberflächentemperatur nicht in gleichem Maße verzögert ist, oder daß sie diesem sogar vorangeht, kann mit der Wirkung der Verdunstung erklärt werden.

Die Beobachtungen von *Donat* gestatten einen tieferen Einblick in das behandelte Problem. Sie zeigen, daß man durch die Analyse der Begleiterscheinungen diejenige Ursache feststellen kann, die gerade am meisten zur Geltung kommt, was dann durch weitere Beobachtungen noch kontrolliert werden kann. Man sieht zugleich, wie notwendig es ist, die wichtigsten Bohrlöcher mit Linnigraphen zu versehen, um die regelmäßig wiederkehrenden Druckschwankungen näher feststellen und größere Werte aus der weiteren Bearbeitung der Beobachtungsziffern ausscheiden zu können.

Die von *Hooghoudt* besprochene «Bohrlöchermethode zur Ermittlung der Durchlässigkeit des Bodens» (S. 42), setzt das Vorhandensein eines Grundwasserspiegels voraus. Die Durchlässigkeit des Bodens wird bei dieser Methode durch die Kurve des Wasseraufstiegs im ausgeschöpften Bohrloche charakterisiert. Der Durchlässigkeitsfaktor wird aus dem analytischen Ausdrucke der Steigkurve berechnet.

In den Niederlanden trifft es durchaus nicht zu, daß die Durchlässigkeit um so geringer wird, je schwerer der Boden ist. Dies hängt ohne Zweifel damit zusammen, daß die dortigen Böden verhältnismäßig noch sehr jung sind.

Das Entwässerungsbedürfnis hängt ab von der Bodendurchlässigkeit, von ihrer Veränderung mit der Tiefe und von der Tiefe, bis zu welcher der Boden durchlässig bleibt.

In schwer durchlässigen Bodentypen ändern sich die Grundwasserstände sehr beim Übergang von regnerischen Zeiten in trockene. Die Grundwasserhöhe hängt hier vom Regenfall und von der Verdunstung ab. Der Wasserabfluß durch den Boden ist gering. Eine große Dräntiefe ist hier nicht von Bedeutung, wohl aber ein sehr durchlässiger Drängaben. Die Strangentfernung muß gering sein.

In durchlässigen Böden werden auch bei kleinen Druckhöhenunterschieden große Wassermengen abfließen, bei zahlreichen nichtkapillaren Räumen sinkt der Grundwasserstand langsam. Die Dränstränge und Gräben halten den Wasserspiegel in engen Grenzen. Je größer die Dräntiefe ist, um so größer kann die Strangentfernung sein. Man muß die Abflußmöglichkeit aus dem Boden, die Eintrittsgelegenheit in den Saugdrän und seine Abführungskapazität in Betracht ziehen.

Die Bohrlochmethode zur Ermittlung der Durchlässigkeit des Bodens ist am weitesten für Sandböden geklärt. Es handelt sich dabei gewöhnlich um einen abnehmenden Wasserzufluß zum Bohrloch, also um keinen Beharrungszustand. Im Lehm- und Tonboden muß man prüfen, ob die Bohrlochwände nicht teilweise abgedichtet wurden. Diese Bodengattungen sind im Drängaben mehr und gegen die Mitte der Strangentfernung immer weniger durchlässig. Der Porenraum, in dem der Einfluß der Schwere überwiegt, schwankt von Zeit zu Zeit und vermindert sich nach der Durchführung langsam aber ununterbrochen. Die mechanische Analyse kann bei dieser Methode immer durchgeführt werden, was auch weiterhin eine gewisse Bedeutung beibehalten wird, wie es auch *Diserens* in seinem Referate andeutet. Neben dem Resultate der mechanischen Bodenanalyse werden auch die Entstehung, sowie die Zusammensetzung des Muttergesteins und das Entwicklungsstadium des Bodens festgestellt, auf dieser Grundlage die Porenverhältnisse geschätzt und so der Übergang zu den Böden hergestellt, in denen kein ständiges Grundwasser vorkommt. Das Grundwasser hat im Tonboden einen anderen Charakter als im regelmäßig gelagerten Sande, in dem die Körner gleich groß sind und alle dieselbe Form haben.

In der Tschechoslowakei hatte man zuerst feinkörnige Schwemmlandböden gedränt; die dabei gesammelten Erfahrungen wurden durch neue ergänzt, als man zur Dränung der stationären Verwitterungsböden überging. *Kopecký* betonte immer die Entwässerung der Sandböden und die Durchlüftung der Tonböden. Über die Depressionskurven bei ständigem Grundwasserzufluß im ersten Falle und über die Absenkungskurven im zweiten Falle, wo das ungebundene Wasser nur nach größeren Regen vorkommt, habe ich im Jahre 1924 in Rom referiert. Unsere Versuchstation Záhati stellt eine gedrännte Teichanschwemmung vor. Einige Jahre floß kein Wasser aus. In der Zeit von Juni bis November des Jahres 1936 kamen vier voneinander total getrennte Wasserwellen vor. Die betreffenden Forschungen sind im Gange.

*Koehne* berichtet über «Grundwasserstandsschwankungen in Verbindung mit der Frage fortschreitender Austrocknung» (S. 58). Er behandelt zunächst die Frage, welche mittelbaren Verfahren verfügbar sind, um ein Bild der Schwankungen der Bodenfeuchtigkeit in langen Zeiträumen zu erhalten. Auf diese Schwankungen lassen sich u. a. aus den Jahresringen alter Bäume Schlüsse ziehen, vorausgesetzt, daß andere Einflüsse (Raupenfraß, Grundwasserabsenkung u. dgl.) ausgemerzt werden.

Neuerdings haben die regelmäßigen Grundwassermessungen einen großen Umfang angenommen; in Deutschland werden die Grund-



wasserstände an über 15 000 Stellen beobachtet, oft schon seit über 20 Jahren. Die Schwankungen des Grundwassers zeigen gegenüber denjenigen der Bodenfeuchtigkeit eine gewisse Verzögerung. Beim Vergleich der Überschuß- und Fehlbetragsbilder fällt auf, daß das Bild beim Grundwasser viel übersichtlicher und ausgeglichener ist, als bei den Niederschlägen.

In West-Sussex in England wird der Grundwasserspiegel im Kalkgebirge seit 1836 regelmäßig gemessen. Nasse und trockene Jahresreihen wechseln, ohne daß sich eine fortschreitende Senkung erkennen ließe.

Der Wasserbedarf wächst, darum wirken die Dürren schädlicher. Sollen Überschüsse im Boden aufgespeichert werden, muß vorher der Grundwasserspiegel abgesenkt werden. Mehrjährige Trockenzeiten und Hochwasser größten Ausmaßes liegen oft zeitlich nahe beieinander.

Das Problem verlangt noch eine weitere Durcharbeitung. Nicht überall bleibt die Durchlässigkeit des Bodens konstant und der Grundwasserstand durch Jahrhunderte hindurch unbeeinflußt. Mit der Wasseraufspeicherung in der regenreichen Zeit müßte man vorsichtig vorgehen, damit der Boden nicht schädlich ausgelaugt wird. Die richtig durchgeführten Bewässerungen sollen in erster Linie den notwendigen Entwässerungen das Gegengewicht halten.

*Oehler* hat «Versuche über die Sickerbewegung im wasserreichen und wasserarmen Boden» (S. 70) in Angriff genommen. Der Durchfluß bei Überstauung, sowie bei absinkendem Wasserspiegel stimmte bei Verteilung in einzelne Abschnitte mit dem Sickergesetze von *Darcy* ausreichend überein.

Interessant ist, daß sich im Augenblicke des Verschwindens des Wasserspiegels im Sandboden ein plötzlicher Druckabfall in etwa fünftertelfacher Höhe der kapillaren Steighöhe zeigt und der Wasserausfluß in entsprechendem Maße zurückgeht. Die Rückhaltewirkung hat sich dabei bis auf das Maß der kapillaren Steighöhe vermindert. Beim Verfolgen der Versickerung von aufgebrachtem Wasser (Regen) zeigte es sich, daß der feine Sand das Wasser langsamer abfließen ließ und größere Mengen zurückhielt als die Moorböden. Die Abflußzeiten waren von den Beschickungshöhen abhängig, dagegen blieben die aufgespeicherten Wassermengen von der Stärke der Beschickung ziemlich unabhängig, sobald diese eine gewisse Höhe überstieg.

Im Sande betrug bei Beschickungshöhen von 20—100 mm die zurückgehaltenen Wasserhöhen 4—5 mm, bei 10 mm Wasserschicht ist es zu keinem Abflusse gekommen. Kleine Steigerungen der Bodentemperatur hatten die Hebung des Grundwasserspiegels um einige Zentimeter zur Folge. Der Einfluß von Luftdruckschwankungen wurde gewöhnlich durch die Temperaturwirkungen überdeckt. Ein Druckabfall brachte eine Vermehrung des Auslaufs, wirkte also ähnlich wie eine Temperatursteigerung. Durch die Entlüftung wird einem Teile des Porenraumes die Wasseraufnahme erleichtert. Poren, welche als Wasserspeicher dienen, kommen aber als Wasserleiter sehr wenig in Frage.

*Oehler* arbeitete mit Sand, Hoch- und Niederungsmoor. Für den Vergleichsversuch diente ihm Lehm. Es wurde schon früher fest-

gestellt, daß die durchsickernde Wassermenge auch beim stetigen Wasserspiegel nicht konstant bleibt, weil sich die Bodenstruktur ändert und weil auch der Boden mit der Zeit podsoliert wird (*Wilyn*). Aus den Resultaten der 3 Versuchsgruppen sieht man, daß zu unterscheiden ist: 1. der Anfang des Regens, 2. der größere oder kleinere Beharrungszustand, wobei die Bodenluft eingeschlossen wird, und 3. das Einsickern nach dem Regen. Die bei ungenügenden und bei zu großen Beschickungshöhen im Boden zurückgehaltenen Wassermengen müssen noch studiert werden, um zu sehen, warum im ersten Falle mehr Wasser als im zweiten festgehalten wird.

*Oehler* hat ferner sechs Reihen von «Versuchen über die Wasserverteilung im Kapillarsaum» durchgeführt (S. 84). Er arbeitete mit lufttrockenen, künstlich gelagerten Böden in Glasröhren von 3 cm Durchmesser und 150 cm Länge. Die Steighöhe und die Gewichtszunahme wurden festgestellt, die Wasser- und Luftverteilung innerhalb der Bodensäule verfolgt, die Veränderung des Wassergehaltes innerhalb des Kapillarsaumes während des Wasseranstiegs beobachtet, die Wasseraufnahme bei unvollständiger Ausbildung des Kapillarsaums infolge ungenügender Mächtigkeit des Bodens über dem Grundwasserspiegel ermittelt, der tägliche Wassernachschub im Kapillarsaum während der Steigzeit gemessen, die tägliche Wasserlieferung aus dem Kapillarsaum studiert und dem Einflusse des Luftdruckes auf den kapillaren Aufstieg spezielle Aufmerksamkeit gewidmet. Die Resultate wurden graphisch dargestellt und empirische Gleichungen aufgestellt. Gleich am Anfang wird bemerkt, daß ein Vergleich dieser Versuche mit denen von *Krüger* nicht ohne weiteres zulässig ist, und daß sich der kapillare Anstieg in erdfeuchtem Boden wesentlich schneller vollzieht.

*Oehler* hat durch seine Versuche über die Wasserverteilung im Kapillarsaum die früheren Arbeiten von *Atterberg*, *Mitscherlich*, *King*, *Versluys* und *Krüger* in den Grundzügen bestätigt. Er hat die Ausdehnung seiner Untersuchungen auf gewachsene Böden schon in die Wege geleitet. Die Kurve des Wassergehaltes in verschiedenen Höhen des Kapillarsaums ist für jeden Boden charakteristisch; die beim stationären Zustande in verschiedene Höhen steigenden Wassermengen sind praktisch sehr wichtig, sie müssen deshalb für die oft auftretenden Bodentypen ermittelt werden.

#### *Entschließungsantrag.*

«1. In allen aufgeworfenen Fragen ist sowohl unmittelbar als auch mittelbar noch so viel zu klären, daß man nicht vorschlagen kann, sich ganz neuen Problemen zuzuwenden.

2. Besondere Aufmerksamkeit ist der Dürre und im Rahmen dieses Problems dem Einfluß der Bodenbearbeitung auf die Verhältnisse des Bodenwassers sowie der einfachen Bestimmung des Welkekoeffizienten zu widmen. Auch sollte man allgemein auf breiterer Grundlage den Einfluß des Waldes auf die ganze Wasserwirtschaft einer Gegend wissenschaftlich behandeln.»

## Diskussion.

**Hissink:** Zum Vortrag von Dr. *Hooghoudt* möchte ich ergänzend ein Zahlenbeispiel für die Anwendung der Formel

$$k (H^2 - h^2)$$

mitteilen. In der Formel bedeuten  $S$  den Abfluß in m je 24 Stunden und  $k$  den Durchlässigkeits-Koeffizienten in m je 24 Stunden.  $H$ ,  $h$  und  $e$  haben die aus der Abb. 2 ersichtlich Bedeutung.

Als gute Entwässerung für Ackerland wird ein Wert  $a = 0,5$  m angenommen, bei einem Werte von  $S = 0,005$ . Die Größe  $k$  wird nach der Bohrlöcher-

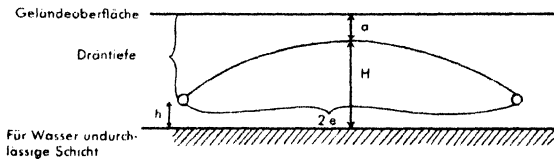


Abb. 2

Größe der Fläche 67 ha. Anzahl der  $k$ -Wert-Bestimmungen 67.  $k$ -Werte (der homogenen Schicht bis zur Tiefe 2 m, wo die undurchlässige Schicht anfängt) von 0,1 bis 3,0; mittlerer  $k$ -Wert  $\approx 0,74$  (mittlerer Fehler des Mittelwerts 3%).

$a = 0,5$  m, also  $H = 1,5$  m; Dräntiefe  $= 1,5$  m, also  $h = 0,5$  m. Damit ergibt die Formel eine Dränenntfernung  $2e = 34,5$  m.

Ich komme nun zu einem anderen Thema, nämlich zur Verteilung des Wassers im Boden. Durch die Wasserversorgungsanlagen der Städte und Provinzen werden in Holland in manchen Fällen dem Boden zum Schaden der Landwirtschaft große Wassermengen entzogen. Um diese Wasserentziehungsfrage zu studieren, wurde eine Kgl. Kommission ernannt. Diese Kommission hat im Jahre 1933 mit dem Studium der Wasserentziehung in den Düengebieten, dem Sitze der Blumenzwiebelkultur, angefangen. Diese Kulturen haben eine ganz genau abgestimmte Grundwasserhöhe nötig. Schon eine Erhöhung oder Erniedrigung des Grundwasserstandes um einige Zentimeter kann schädlich wirken. Prof. *Blaauw*, Wageningen, hat nun Untersuchungen über die Einwirkung des Grundwasserstandes auf die Blumenzwiebelkulturen angestellt. Mein Institut hat dabei die bodenkundliche Seite bearbeitet. Der Düensand kann grob- und feinkörnig sein (U-Zahlen zwischen rund 50 und 70). Die Versuche sind daher in grobkörnigem Sand mit einer spezifischen Oberfläche von 53 und in feinkörnigem Sand mit einer solchen von 67 angelegt worden. Der Sand ist sehr gleichmäßig. In einem Falle, wo der Grundwasserstand 80 cm unter der Erdoberfläche war, haben wir nun in Tiefenabständen von 5 cm den Porenraum, den Wassergehalt und den Luftgehalt bestimmt. Ferner haben wir mit den Formeln von *Zunker* aus den U-Werten und dem Porenraum die kapillare Steighöhe berechnet. Es zeigte sich nun, daß in dieser Höhe, in der also immer noch die kapillare Saugkraft wirksam ist, der Wassergehalt allmählich ab-

nimmt. Beim grobkörnigen Sand haben wir für einen Grundwasserstand von etwa 50 cm ungefähr die gleichen Ergebnisse erhalten. Der Luftgehalt war noch etwas größer, er betrug 62% des Porenraums. Der Luftgehalt, der gleich über dem phreatischen Niveau ungefähr 20% des Porenraums beträgt, nimmt in der kapillaren Zone erst langsam, dann schneller zu. Die kapillare Zone geht allmählich in die Hangwasser-Zone über. Man muß also annehmen, daß das obere Niveau der kapillaren Zone tiefe Täler und hohe Berge besitzt, welche von den verschiedenen dicken Kapillaren herrühren. Ich möchte diesen Teil der kapillaren Zone als den Saum der kapillaren Zone, also als den Kapillarsaum betrachten. Ferner möchte ich noch darauf hinweisen, daß die größte Menge der Wurzeln in der kapillaren Zone vorhanden ist; hier — wo sich Wasser und *Luft* befinden — findet die Wasseraufnahme statt.

**Oehler:** Die Mitteilung von Herrn Dr. *Hissink*, daß sich nach holländischen Beobachtungen auch im untersten Teil des Kapillarsaums (geschlossener Kapillarsaum) Luft befindet, stimmt mit meinen Versuchen überein. Es geht dies schon aus dem letzten Abschnitt meines Berichtes über die «Wasserverteilung im Kapillarsaum» hervor. Meine neueren, noch nicht abgeschlossenen Versuche zeigen einwandfrei, daß sich im geschlossenen Kapillarsaum noch ziemlich beträchtliche Luftmengen befinden können.

**Koehne:** Der Ausdruck Kapillarsaum ist von *Meinzer* (U. S. A.) in das Schrifttum eingeführt (capillary fringe) und von mir in die deutsche Sprache übertragen worden. Er ist als frange capillaire auch in die französische Literatur übergegangen. Er bezeichnet die Zone oberhalb der Spiegel, die sich in nicht zu tiefen Rohren in durchlässigem Boden einstellen. Er zerfällt in einen unteren Teil mit geschlossenen und einen oberen Teil mit offenen Kapillaren.

**Zunker:** Die von Herrn Dr. *Hissink* festgestellte Verteilung des Wassers im Kapillarsaum eines sonst scheinbar gleichmäßigen Bodens beruht hauptsächlich auf der Verschiedenheit der durchschnittlichen Weite der Porenschlote. In einem aufgeschlossenen Boden bilden Wurzel- und Wurmlöcher weite Porenschlote, in denen das Kapillarwasser eine Lage dicht über der Grundwasseroberfläche hat. Daneben befinden sich die engeren Porenschlote des weniger aufgeschlossenen Bodens, in denen das Kapillarwasser entsprechend hoch über der Grundwasseroberfläche steht. Auf diese Verhältnisse habe ich im Handbuch der Bodenlehre von *Blanck*, 6. Bd., auf S. 110 und 111 bereits hingewiesen. Diese Verschiedenheit des kapillaren Aufstiegs innerhalb des Kapillarsaums ist für die Wasserversorgung der Pflanzenwurzeln von größter Bedeutung, indem die Pflanzenwurzeln mit ihren Hauptwurzeln den gröberen, lufthaltigen Porenschlotten nachfolgen und demgemäß tief in den Boden eindringen können, während sie mit ihren Saugwurzeln das nötige Wasser seitlich aus den feineren Porenschlotten entnehmen, die ihrerseits ihren Wasserverlust wieder aus den weiten Porenschlotten decken. Der Grundwasserspiegel sinkt entsprechend dem Meniskenstand in den weiten Porenschlotten. Die Kapillarität des Bodens, die mit Hilfe der Kapillarmeter durch Absaugen des Wassers oder durch Preßluft-

druck festgestellt wird, ist die Kapillarität der weiten Porenschlote. Die Wasserverteilung innerhalb des Kapillarsaums wird hiernach maßgebend von dem Gefüge des Bodens beeinflusst.

**Mitscherlich:** Erreichen die Zwiebeln nicht mehr mit ihren Wurzeln die Bodenschicht, die das Wasser noch kapillar aufsaugt, so müssen sie elend zugrunde gehen. Erreichen sie aber diese Schicht, so können sie hier ihr Wurzelsystem noch weiter ausbilden. Erfolgt dabei der kapillare Wassernachstieg sehr schnell, so haben die Pflanzen nicht nötig, noch weitere Energiemengen für das Tiefenwachstum der Wurzel aufzuwenden; sie brauchen also dann nicht mehr tiefer in den Boden einzudringen, um dem Wasser nachzugehen.

**Hénin:** Il y a trois formes *qualitatives* d'eau dans le sol:

1<sup>o</sup> eau orientée,

2<sup>o</sup> eau de gonflement des colloïdes,

3<sup>o</sup> eau des capillaires.

Etant donné que l'on connaît mal les propriétés de l'eau enfermée dans les tubes étroits (tension superficielle) et que d'autre part la théorie capillaire ordinaire ne permet pas de prévoir les propriétés servant à caractériser les qualités d'eau 1 et 2 il nous semble nécessaire d'introduire les notions servant à établir la classification exposée ci-dessus.

**Scott Blair:** I am in agreement with M. *Hénin* that it is convenient to divide soil-water into three groups, but I must emphasize that there are no fixed limits between the three types. If M. *Hénin* had used a different method for determining bound water, he would have obtained a different result.

We know too little about the flow properties of thin water films to be able to apply any simple physical laws to them. We do not even know whether the viscosity of such films is higher than that of water in bulk, or even if the *Poiseuille-Hagen* law is obeyed. The work of *Terzaghi* and many others including myself would seem to show an abnormal viscous behaviour, whereas that of *Bowden* and *Bastowe* indicates a perfectly normal viscosity. We must obtain more information about these physical properties before we dare to apply capillary and viscosity theories to such complex systems as soil.

**E. W. Russell:** There is no sharp boundary between orientated and non-orientated water molecules. The molecules very close to the clay particles are well orientated and tightly bound, while those further away are not so well orientated. Orientation is statistical, that is there is a greater probability that a water molecule will be orientated towards the clay particle than away from it, and the further away the molecule is from the clay surface the smaller is the probability that it will be orientated. Thus it is impossible to say how many water molecules are orientated around a clay particle.

**Mitscherlich:** Die Gesetze der Kapillarität gelten für alle Hohlräume bzw. für alle Bodenbestandteile. Der kapillare Durchfluß ist aber eine Funktion der Zeit. Er erfolgt um so langsamer, je größer die Bodenoberfläche im Bodenvolumen ist, und je größer damit die Reibung des Wassers im Boden ist. Ist diese Reibung sehr groß, so findet eine Wasserbewegung erst in unendlich langer Zeit statt, d. h. sie ist nicht mehr zu beobachten.

**Blanc :** En septembre 1935, à Madrid, au deuxième Congrès internationale du Génie rural, nous avons, dans un rapport général, rédigé en collaboration avec M. Laferrère proposé de déterminer et de définir avec précision les caractéristiques hydrodynamiques essentielles d'un sol en nous plaçant au point de vue de l'ingénieur qui a besoin de formules *pratiquement utilisables*.

Nos propositions furent acceptées par le Congrès qui donna son approbation aux définitions présentées, et les fit siennes.

Malheureusement, les événements survenus en Espagne empêchèrent de publier le Compte rendu des travaux du Congrès, aussi pour faire connaître les décisions prises, nous proposons nous d'exposer à la 6<sup>e</sup> Commission de l'Association Internationale de la Science du Sol le court extrait qui suit du rapport général présenté à Madrid.

### *Ecoulement souterrain des eaux.*

Pour ne pas nous heurter à des difficultés quasi insurmontables, ne pas nous perdre dans un enchevêtrement inextricable de relations complexes liant de multiples paramètres différents — dont le nombre dépend d'ailleurs de l'état d'avancement de recherches — et pour faire une besogne utile à l'ingénieur, nous ne tiendrons compte que des caractéristiques hydrodynamiques *fondamentales* ou *principales* des sols, en laissant de côté les caractéristiques secondaires, tout en signalant éventuellement les études qui auront été faites les concernant.

Nous commencerons donc par *choisir ces caractéristiques principales*, et nous nous proposerons alors comme tâche essentielle celle de donner à chacune d'elles une *appellation*, une *définition*, une *désignation* et une *évaluation* qui puissent être *internationalement adoptées*.

Il y a en effet, à l'heure actuelle, trop d'appellations diverses pour une même caractéristique, trop d'unités différentes pour la mesurer; il faut faire cesser cette hétérogénéité qui rend difficile l'étude de ces questions et empêche d'aboutir à des conclusions homogènes, il faut arriver à une sorte de doctrine comme cela a été fait pour toutes les autres sciences. C'est le but que nous nous proposons. S'il est atteint au cours du présent Congrès, nul doute que, de ce fait, un résultat important aura été acquis.

Après cela nous exposerons les méthodes utilisées pour mesurer tant au laboratoire que sur le terrain les caractéristiques principales que nous aurons définies.

### *Détermination et spécification des caractéristiques hydrodynamiques principales d'un sol.*

Laissant de côté, comme nous l'avons déjà dit, certaines caractéristiques secondaires comme la forme et la dimension des grains, la viscosité, etc. nous proposerons d'adopter comme caractéristiques principales les 3 éléments que voici:

La vitesse de filtration,  
le coefficient de perméabilité,  
la hauteur capillaire.

a) *Vitesse de filtration*. La loi générale d'écoulement des eaux souterraines est celle de *Darcy-Dupuit*:  $Q = K \cdot S \cdot I$ , dans laquelle  $Q$  représente le débit de la nappe,  $S$  sa section,  $I$  sa pente motrice et  $K$  la facilité avec laquelle l'eau se déplace dans le terrain considéré.

Le terme  $K$  peut donc représenter celle des caractéristiques hydrodynamiques ayant trait à la rapidité de filtration d'une eau dans un sol donné, aussi, peu de temps avant sa mort, *Porchet* avait-il proposé de donner à  $K$  l'appellation de «*vitesse de filtration*».

De nombreux hydrauliciens (MM. *Kozeny*, *Zunker*, *Hooghoudt*, *Terzaghi*) estiment qu'une définition découlant directement de la loi de *Darcy* n'est pas complète, car elle ne fait pas intervenir l'influence des trois facteurs: viscosité de l'eau, pourcentage de vides, diamètre des grains constituant le terrain, qui semblent avoir dans l'état des recherches actuelles une influence sur la valeur de  $K$ .

Pour M. *Terzaghi*, en particulier, la viscosité de l'eau a une influence plus sensible sur la valeur de  $K$  dans le cas des sols argileux que dans le cas des sols sableux.

Un certain nombre de formules ont été proposées qui tiennent compte de ces influences. A notre connaissance, elles n'ont pas encore été systématiquement vérifiées.

De plus, comme le fait remarquer M. le Professeur *Diserens*, ces relations ne sont pas simples, elles exigent une série de déterminations préalables et elles ne s'appliquent vraiment qu'aux sols sableux; leur emploi ne peut donc pas être retenu pour des applications courantes.

Le Dr. *Hooghoudt* propose de compléter la définition de  $K$  en précisant au moyen de ses formules les conditions de température (influant sur la viscosité de l'eau) et les pourcentages de vides. Il adopte comme bases 10° C pour la température et 35% pour le pourcentage de vides.

M. *Terzaghi* adopte 10° C pour la température et 50% pour le pourcentage de vides. Il désigne la valeur de  $K$  ainsi trouvée par «*K réduit*».

L'accord ne semble donc pas être fait sur le choix des bases. Il serait indispensable cependant qu'il fût réalisé entre les chercheurs pour que puisse être mise au point une définition complétée de  $K$ .

Mais d'ores et déjà, une définition simple de cet élément considéré comme caractéristique principale serait fort utile aux ingénieurs.

Comme nous l'avons rappelé, *Porchet* a proposé comme appellation «*vitesse de filtration*».

M. *Diserens* propose «*coefficient de filtration*». D'autres auteurs disent «*coefficient de perméabilité*».

Il faut adopter une appellation unique.

En premier lieu, le terme de «*filtration*» semble mieux convenir que celui de «*perméabilité*».

Le mot «*perméabilité*» représente mal, en effet, le phénomène de la traversée par l'eau d'une face d'échantillon de terrain. En outre, il prêterait à confusion avec la seconde caractéristique dont il sera question plus loin.

Le mot «*filtration*» plus imagé, plus net, et ne prêtant nullement à confusion, désigne beaucoup mieux le phénomène envisagé.

Reste alors à faire un choix entre les 2 expressions: «vitesse de filtration» et «coefficient de filtration».

La première, adoptée en France par la Station expérimentale d'Hydraulique agricole et de Génie rural, semble s'adapter parfaitement à un élément qui a les dimensions d'une vitesse.

La seconde a la préférence de M. *Diserens* parce que, en général, dans l'expression de la vitesse, la pente intervient.

On peut en effet établir entre les formules de l'hydraulique applicables aux canaux et tuyaux, et les formules de l'hydraulique souterraine l'analogie suivante:

Hydraulique	Hydraulique souterraine
$Q = S \cdot U$	$Q = S \cdot V_a$
$U = k \cdot I^{1/2}$	$V_a = K \cdot I$
$Q = k \cdot S \cdot I^{1/2}$	$Q = K \cdot S \cdot I$

Dans ces formules  $S$ ,  $U$  et  $I$  ont leurs significations habituelles et  $V_a$  représente, en hydrodynamique souterraine, la «vitesse apparente» de l'eau dans le sol.

$K$  semble donc pouvoir être appelé «coefficient» comme l'élément analogue  $k$  de l'hydraulique.

Toutefois, cette manière de voir présente l'inconvénient d'appeler «coefficient» un élément qui a des dimensions. Certes ce n'est pas irrégulier; il existe des coefficients ayant des dimensions, mais en général on a tendance à voir dans un coefficient une simple valeur numérique.

Et alors, comme  $K$  a les dimensions d'une vitesse puisque, par ailleurs, si l'on fait  $I = 1$  il vient  $V_a = K$ , il nous semble possible de concilier les différents points de vue et d'éviter toute confusion en appelant  $K$  «vitesse de filtration par unité de pente». On conserve en même temps l'analogie rappelée plus haut et l'homogénéité des formules.

La vitesse apparente  $V_a$  devient alors le produit, par la pente motrice, de la vitesse de filtration par unité de pente.

Comme désignation, nous proposons de conserver la lettre majuscule  $K$  généralement admise.

Comme définition, la suivante semble convenir: *La vitesse de filtration par unité de pente est la hauteur de la colonne d'eau qui, sous la pente motrice unité, traverse, dans le temps unité, la surface de la colonne filtrante.*

Reste la question des unités.

Cette vitesse est mesurée, suivant les auteurs, en centimètres par seconde, centimètres par minute, mètres par seconde, mètres par 24 heures.

Pour faire cesser toute confusion, il faut choisir une fois pour toutes entre ces différentes unités.

Nous pensons qu'il est nécessaire pour cela de tenir compte des besoins et des habitudes des spécialistes qui ont à utiliser la valeur de  $K$ . Ces spécialistes sont beaucoup plus souvent des ingénieurs



que des physiciens. Or, les ingénieurs sont habitués au système pratique, le système C. G. S. étant surtout un système d'unités utilisé par les purs physiciens. Nos préférences vont donc au système pratique d'unités.

Nous proposons, en conséquence, au Congrès, de choisir comme unité, pour mesurer K, *le mètre par seconde*.

Dans ces conditions, pour l'application de la formule de Darcy, la surface sera exprimée en mètres carrés, la pente motrice en mètres par mètre, et le débit sera donné en mètres cubes par seconde.

Ce choix présentera, en outre, l'avantage connexe suivant: Le nombre qui exprime K en mètres par seconde étant toujours un nombre décimal très petit, on pourra caractériser les terrains, dans une classification au point de vue de la vitesse de filtration, par le logarithme de K changé de signe. Ce nombre sera toujours très nettement supérieur à l'unité.

b) *Coefficient de perméabilité*. Il s'agit de caractériser la quantité d'eau en mouvement dans un sol donné.

Le Dr. Hooghoudt a défini une grandeur qu'il appelle « *quantité d'eau retenue* » ( $W_{ha}$ ) et qu'il exprime soit en grammes d'eau par 100 grammes de matière sèche, soit en volume pour cent.

Cette grandeur est à peu près égale à la « *capacité d'eau* » définie par le professeur Zunker.

Comme il s'agit là d'une proportion, le terme de « *coefficient* » nous semble mieux convenir que tout autre.

De plus, ce que nous tenons à mettre en évidence pour déterminer les réserves en eau du sol et la vitesse vraie de l'eau, c'est la proportion d'« *eau mobile* » dans un volume donné de terrain.

Nous proposons donc, avec M. Diserens, d'appeler *coefficient de perméabilité* et de désigner par la lettre grecque  $\mu$  (mû) l'élément caractéristique ainsi défini:

*Le quotient du volume de l'eau mobile d'un sol gorgé d'eau par le volume apparent de ce sol.*

Ce coefficient n'a pas de dimensions.

Ainsi la vitesse réelle de l'eau dans le sol sera évidemment égale à la vitesse apparente divisée par le coefficient de perméabilité

$$V_r = \frac{V_a}{\mu}.$$

c) *Hauteur capillaire*. Ce sera notre troisième caractéristique principale.

*La hauteur capillaire*, qu'on appelle quelquefois ascension capillaire, est la hauteur à laquelle s'élève par capillarité de l'eau placée à la partie inférieure d'une colonne de terrain.

Certains auteurs préférèrent à l'expression « *hauteur capillaire* » l'expression « *pression capillaire* ».

Cette manière de voir est naturelle, encore qu'il serait mieux de parler de hauteur représentative de la pression capillaire ou de hauteur piézométrique de la pression capillaire, mais il nous paraît bien plus simple de dire « *hauteur capillaire* ».

Un certain nombre d'expérimentateurs ont constaté, à la suite de mesures nombreuses, que la hauteur capillaire est fonction du

pourcentage de vides, de la grosseur des grains et de la tension superficielle. Ils ont tenu compte de ces incidences dans des formules permettant de calculer la hauteur capillaire en fonction de ces trois paramètres.

Le Dr. *Hooghoudt* signale qu'on peut utiliser les formules en question pour rapporter la hauteur capillaire à un pourcentage de vides égal à 35%.

Comme pour la vitesse de filtration, ne devront être retenues que les définitions et les formules qui donnent à la hauteur capillaire les dimensions d'une longueur, aussi la définition donnée ci-dessus nous semble bien convenir.

La hauteur capillaire est désignée, suivant les auteurs, par  $\gamma$  ou par H.

Nous demanderons au Congrès de se prononcer au point de vue de la lettre de désignation de cette grandeur, en lui indiquant que la hauteur capillaire peut intervenir dans de nombreux calculs où une autre grandeur est désignée par H.

Nous croyons que la lettre grecque  $\lambda$  (lambda) serait plus commode pour la désigner, étant donné qu'elle prêterait moins à confusion dans les applications possibles. Nous proposons de l'adopter.

Suivant les auteurs, les unités utilisées pour évaluer la hauteur capillaire sont le centimètre ou le mètre.

Pour nous placer encore dans les conditions pratiques d'utilisation, nous proposerons au Congrès de décider que la hauteur capillaire soit évaluée en mètres.

Avant de passer à l'étude des procédés de mesure des grandeurs que nous venons de définir, nous concluerons immédiatement le premier paragraphe de ce mémoire en proposant au Congrès d'adopter comme caractéristiques principales hydrodynamiques des sols les éléments suivants ainsi définis, désignés et évalués:

### *1<sup>o</sup> Vitesse de filtration par unité de pente.*

*Désignation:* K (lettre majuscule).

*Définition:* C'est la hauteur de la colonne d'eau qui, sous la pente motrice unité, traverse dans le temps unité la surface de la colonne filtrante.

*Unité:* Le mètre par seconde.

### *2<sup>o</sup> Coefficient de perméabilité.*

*Désignation:*  $\mu$  (mû).

*Définition:* C'est le quotient du volume de l'eau mobile d'un sol gorgé d'eau par le volume apparent de ce sol.

### *3<sup>o</sup> Hauteur capillaire.*

*Désignation:*  $\lambda$  (lambda).

*Définition:* C'est la hauteur à laquelle s'élève par capillarité de l'eau placée à la partie inférieure d'une colonne de terrain.

*Unité:* Le mètre.

Nous devons signaler que dans le rapport présenté à Madrid, nous avons désigné par  $\gamma$  la hauteur capillaire que nous désignons

ci-dessus par  $\lambda$ , ceci dans le but d'éviter toute confusion avec la viscosité généralement désignée par  $\eta$ .

Notre exposé de lors était suivi de l'indication des différents procédés de mesure des caractéristiques hydrodynamiques du sol telles que précédemment définies.

Nous soumettons donc simplement à la 6<sup>e</sup> Commission de l'Association Internationale de la Science du Sol les définitions précédemment données dans l'espoir que les techniciens des différents pays puissent se mettre d'accord sur une terminologie clairement et rationnellement établie.

$$\mathbf{V}_a = \mathbf{k} \cdot \mathbf{I}, \quad (1)$$

$$V_a^m = A \cdot I, \quad (2)$$

$$I = \frac{V}{k} + \frac{V^2}{k^2} + \dots + \frac{V^n}{k^n}. \quad (3)$$

Les essais ont été effectués sur du sable de rivière; les échantillons étaient classés par diamètre par tamisage.

a) Lorsque le sable est à éléments fins et que la vitesse apparente est inférieure à 2 mm par seconde la loi de *Darcy* (formule 1) se vérifie correctement.

Quant à la forme de la loi représentée par la formule 3 elle n'a pas été systématiquement vérifiée, la formule monome 2, permettant, d'une façon générale, d'effectuer plus simplement les calculs et d'obtenir des formules simples plus commodes pour l'ingénieur.

formel, in der die Geschwindigkeit verhältnissgleich dem Quadrat des spannungsfreien Porenraumes und umgekehrt verhältnissgleich dem Quadrat der spezifischen Oberfläche ist, muß deshalb die Grundwassergeschwindigkeit in Tonböden selbst bei hohem Gefälle überaus klein sein. Abgesehen hiervon hat jedoch das Grundwasser in Tonböden keinen anderen Charakter als in Sandböden.

Während noch im Jahre 1932 in Groningen gegensätzliche Ansichten darüber herrschten, ob eine Verhältnissgleichheit zwischen Grundwassergeschwindigkeit und Gefälle besteht, beginnt sich die von mir stets vertretene Anschauung jetzt durchzusetzen, daß diese im *Darcyschen* Gesetz zum Ausdruck gebrachte Abhängigkeit mindestens für Korngrößen unter 2 mm Gültigkeit hat. Zwar sollte man

das Fließgesetz besser durch die Formel  $v = \frac{k_0}{\eta} J_0$  ausdrücken, worin

$\eta$  die Zähigkeit der Durchströmungsmasse und  $J_0$  das Druckgefälle in cm Wasser von 4° C auf 1 cm Bodenlänge bedeutet, denn in dieser Form gilt die Gleichung für Flüssigkeiten und Gase und  $k_0$  ist «die Durchlässigkeit des Bodens», unabhängig von der Natur der Strömungsmasse. Wenn man bei Absenkungskurven des Grundwassers manchmal noch die Formel  $v^n = kJ$  glaubte festgestellt zu haben, so liegt es einmal daran, daß besonders stark kohlensäurehaltiges Grundwasser bei dem nach einem Brunnen hin abnehmenden hydrostatischen Druck in zunehmendem Maße Gasbläschen in den Bodenporen ausscheidet, die dann ein anderes Fließgesetz vortäuschen können. Ferner ist die übliche Kennzeichnung des Gefälles  $J$  der

Absenkungskurve  $J = \frac{dy}{dx}$ , worin  $x$  den Abstand eines Wasserteilchens

von der Brunnenmitte in der durch das Wasserteilchen gelegten

Horizontalebene bedeutet, unrichtig. Vielmehr muß es heißen  $J = \frac{dy}{ds}$ ,

worin  $s$  die Weglänge des Wasserteilchens bis zum Brunnen bedeutet, die schräg verläuft und mit zunehmender Annäherung des Wasserteilchens an den Brunnen besonders in den Oberflächenschichten des Grundwassers von dem in der Horizontalebene gemessenen Abstände  $x$  immer stärker abweicht. In einer demnächst erscheinenden Arbeit meines Doktoranden *Chwalla* ist gerade dieses Problem eingehend behandelt und sind sehr einfache Gleichungen für die Grundwassergeschwindigkeit bei Absenkungskurven entwickelt worden.

Die Feststellung von Herrn Prof. *Oehler*, daß rückschreitende Wassermenisken im Boden eine Saughöhe in fünfvierfacher Höhe der Kapillarität des Bodens haben, bestätigt meine im Handbuch der Bodenlehre von *Blanck*, 6. Bd., S. 124, schon 1930 aufgestellte Regel. Wenn aber rückschreitende Menisken  $\frac{5}{4}$  der Kapillarität des Bodens haben und die kritische Hanghöhe einer Haft- oder Sickerwasserhaltung  $\frac{1}{2}$  der Kapillarität des Bodens beträgt, wie ich nachgewiesen habe, so müssen meiner Annahme gemäß vorschreitende Menisken eine Saughöhe von  $\frac{3}{4}$  der Kapillarität des Bodens besitzen. Diese Verschiedenheit der Saughöhen der rück- und der vorschrei-

tenden Menisken ist seinerzeit auf dem Internationalen Bodenkundlichen Kongreß in Moskau von *Lebedev* noch bestritten worden.

**Fausser:** Ich bitte nun Herrn Professor *Zunker*, uns einen Bericht über die Tätigkeit der Unterkommission für die Begriffsbestimmung der Arten des unterirdischen Wassers seit ihrer Gründung in Moskau im Jahre 1930 zu erstatten.

**Zunker:** Auf dem 2. Internationalen Kongreß für Bodenkunde im Jahre 1930 wurde in Moskau im Rahmen der 1. und 6. Kommission eine «Unterkommission für die Begriffsbestimmung der Arten des unterirdischen Wassers» eingesetzt. Als Mitglieder wurden benannt die Herren: *Bouyoucos*, *Lebedev*, *Kohne*, *Meinzer*, *Versluys*, *Zunker* als Obmann. Auf der Tagung der 6. Kommission in Groningen im Jahre 1932 wurde dann noch Herr *Porchet* zugewählt.

Von diesen Mitgliedern sind in der Zwischenzeit die Herren *Lebedev*, *Versluys* und *Porchet* verstorben.

Nachdem in den letzten Jahren die Ursache und die Bestimmung des Oberflächendrucks, auf der die hygroskopischen und kapillaren Erscheinungen beruhen, einer Lösung nähergeführt werden konnten, habe ich Vorschläge über die Begriffsbestimmung der Arten des unterirdischen Wassers zunächst in deutscher Sprache für diese Tagung ausgearbeitet und einer größeren Anzahl von Mitgliedern und anderen Fachkollegen zugeschickt.

Mit den vorliegenden Vorschlägen soll die schon früher beabsichtigte Schaffung eines Wörterbuchs der Begriffsbestimmungen in der Bodenkunde eingeleitet werden.

Bei den Begriffsbestimmungen handelt es sich zunächst darum, die verschiedenartigen Erscheinungen des Wassers im Boden ihrem Wesen nach möglichst klar zu erkennen und zu erfassen, sodann im Wörterbuch selbst jede dieser Erscheinungen durch einen eindeutigen, möglichst kurzen Ausdruck möglichst allgemein verständlich zu kennzeichnen und den Sinn dieses Ausdrucks kurz zu erläutern. In der Ausdrucksweise und Wortfindung müssen auch die Ergebnisse der sprachkundigen Forschung berücksichtigt werden.

So gliedert sich die Arbeit:

1. in die Erfassung und kurze Beschreibung der verschiedenartigen Erscheinungen des Wassers im Boden,
2. in die Findung der zutreffendsten Ausdrücke für die Erscheinungen.

Was die Erfassung der Erscheinungen des unterirdischen Wassers anbelangt, so brauchen wir dazu die Mitarbeit der bodenkundlichen Forscher aller Nationen, und diese Arbeit wird niemals ganz abgeschlossen werden können.

Die Findung des rechten Ausdrucks für diese Erscheinungen ist eine eigene Arbeit der Fachkollegen in jedem Lande. Es wird aber die Arbeit der Kollegen in den übrigen Ländern erleichtern, wenn zunächst in einer Sprache mit der Ausdrucksfindung begonnen wird, wenn auch eine einfache Übersetzung der Ausdrücke in andere Sprachen nur mit Vorsicht erfolgen sollte.

Auf die zunächst in deutscher Sprache ausgearbeiteten Vorschläge sind in dankenswerter Weise eine Anzahl Entgegnungen aus

dem Mitgliederkreise und dem Kreise des Deutschen Ausschusses für Kulturbauwesen gekommen.

Einige gegensätzliche Auffassungen über die Begriffsbestimmungen dürften im Verlauf dieser Tagung am besten durch persönliche Aussprache geklärt werden.

Ich erlaube mir den Vorschlag, die weiteren Arbeiten dem Unterausschuß zu überlassen, den Unterausschuß durch mindestens einen Vertreter der verschiedenen Länder und Sprachen zu ergänzen und dem vorliegenden *Entschließungsantrag* die auf Seite 580 abgedruckte Nr. 3 hinzuzufügen.

Hierauf wird die Unterkommission für die Begriffsbestimmung der Arten des unterirdischen Wassers durch die Zuwahl der auf Seite 573 einzeln aufgeführten 14 Herren ergänzt und die *Entschliesung zum Punkt Boden und Wasser* in dem auf Seite 580 in deutscher, auf Seite 581 in französischer und auf Seite 588 in englischer Sprache wiedergegebenen Wortlaut einstimmig angenommen.

## Sitzung der Unterkommission für Moorböden.

Dienstag, den 3. August 1937, 14 Uhr.

Vorsitzender: *Diserens*.

Verhandlungsleiter: *Fausser*.

40 Teilnehmer.

### Einteilung der Moorböden. — Classification des sols tourbeux. Classification of peat soils.

Abhandlungen Nr. 36—38, Seite 281—288.

**Brüne** als Hauptberichterstatter: *Spirhanzl* (S. 281) teilt zunächst die Definitionen mit, die seitens der Moorkommission des Verbandes der landwirtschaftlichen Versuchsstationen in der Tschechoslowakei als der zuständigen Zentralstelle den Begriffen: *Torf, Moor, Moorboden, anmooriger Boden* und *Moerde* gegeben worden sind: «Der Torf ist eine organische Erdart, welche über 50 % brennbarer Stoffe enthält, aus Pflanzenresten besteht, durch den Prozeß der Vertorfung entstanden ist und eine charakteristische Lagerung aufweist.» — «Das Moor ist eine Lagerstätte des Torfes mit einer Mächtigkeit der Torfschichten von mindestens 50 cm bei zusammenhängender Ausdehnung von mindestens 0,5 ha.» Letzteres soll hauptsächlich für die praktische Kartierung der Moore gelten. Mit der Erforschung und Kartierung der Moore wurde in der ČSR bereits um das Jahr 1890 begonnen. Ein großes Verdienst auf diesem Gebiete hat sich der frühere Deutschösterreichische Moorverein, dessen im Jahre 1899 in Sebastiansberg im Erzgebirge gegründete Moor-Versuchsstation unter ihrem langjährigen Leiter *Hans Schreiber* weit über die Grenzen seines Landes bekannt geworden ist und auch gegenwärtig noch besteht, erworben. Einen neuen Impuls erhielt das tschechoslowakische Moowesen durch die Errichtung der Moorkommission beim Verband landwirtschaftlicher Versuchsstationen in der ČSR im Jahre 1934. Sie hat Grundsätze für die Erforschung und Kartierung der Moore ausgearbeitet und bereitet ein «Moorgesetz» zur Regelung der Moorausnutzung, der Abtorfung und des Schutzes naturwissenschaftlich wertvoller Moore in der ČSR vor.

Für die *Einteilung der Moore* empfiehlt die ČSR, die alte einfachste Teilung in *Hochmoore*, *Niederungsmoore* und *Übergangsmoore* beizubehalten. Unter Anwendung der neueren Unterscheidungsmerkmale (*v. Post, Weber*) ergibt sich folgende Kennzeichnung:

1. *Hochmoore* sind oligotrophe, embrogene, supraaquatische, auch soligene Moore;

2. *Niederungsmoore* sind eutrophe, topogene, infraaquatische Moore;

3. *Übergangsmoore* sind mesotrophe, topo- bis ombrogene, sogar auch soligene Moorbildungen (Aapamoore).

Es ist eine Übersichtstafel der Torfarten beigegeben, in welcher ihre Eigenschaften und Benutzbarkeit angegeben werden.

Das Moorkommen in der ČSR wird mit 35 000 ha angegeben. Auf Hochmoore entfallen 9000, auf Niederungsmoore 11 600 und auf Übergangsmoore 14 400 ha.

*Kivinen* berichtet (S. 286), daß man in Finnland bisher, von praktischen Gesichtspunkten aus gesehen, die Moore nur in die beiden Hauptgruppen der *Hochmoore* und der *Niederungsmoore* einzuteilen pflegte. In neuerer Zeit ist man jedoch mehr dazu übergegangen, auf Grund der botanischen Zusammensetzung eine Reihe von Torfartengruppen zu unterscheiden und sie, wie folgt, in die Moorklassen einzuordnen:

Sphagnum-Torf	}	Hochmoortorfe
Seggen-Sphagnum-Torf		
Wald-Sphagnum-Torf		
Sphagnum-Seggen-Torf	}	Niederungsmoortorfe
Wald-Seggen-Torf		
Seggen-Torf		
Braunmoos-Seggen-Torf		

Es folgen dann nähere Ausführungen über die Verbreitung der verschiedenen Torfarten in Finnland.

Die strukturellen Eigenschaften des Torfes werden in der Regel nach dem Schema von *v. Post* angegeben.

Hinsichtlich der chemischen Eigenschaften der verschiedenen Torfarten wird als bemerkenswert mitgeteilt, daß die finnischen Seggen-Braunmoostorfe sehr viel *kalkärmer* sind als die mitteleuropäischen. Der Kalkgehalt kann sogar geringer sein als 1% und steigt nur verhältnismäßig selten über 2%. Auch sind diese Torfe meist schwach humifiziert, was die Ausnutzung ihres Stickstoffs durch die Pflanzen bei der Kultivierung erschwert.

Das C/N-Verhältnis der verschiedenen Torfarten unterliegt sehr charakteristischen Schwankungen. Bei der Vertorfung der Moorpflanzen wie auch bei fortschreitender Humifikation des Torfes nimmt das C/N-Verhältnis sehr rasch ab.

Die oben angegebene Einteilung der Torfarten hat sich bei Bodenkartierungen in Finnland gut bewährt, da der Gehalt der verschiedenen Torfarten an Pflanzennährstoffen und ihre Eignung für verschiedene Zwecke bekannt sind.

Die Ausführungen von *Gherassimov* (S. 288) beschränken sich auf die Moorböden im engeren Sinne (weniger als 40% Asche):

1. Eine brauchbare Einteilung der Moorböden setzt eine einheitliche Begriffsauffassung (Einigung über die hauptsächlichsten Fachausdrücke) aller Moorforscher voraus.

2. Sowohl vom theoretischen wie auch vom praktischen Standpunkt aus hält es *Gherassimov* für ratsam, das «Moor» in erster Linie



mit seinem Pflanzenbestand vom *bodenkundlichen* Gesichtspunkt und erst in zweiter Linie als *geologische* Formation zu betrachten.

3. Die allgemein gebrauchte Bezeichnung «bog» (deutsch = Moor) ist nicht eindeutig. Nach dem Vorschlag des finnischen Botanikers *Kajander* ist dieser Begriff in einen biologischen und einen geologischen zu unterteilen.

4. Es wird vorgeschlagen, für die Moorforschung und die praktischen Mooraufnahmen folgende Begriffe anzuwenden:

*Peat-species* = Torfart als Grundeinheit der Einteilung der Torfablagerungen (entsprechend dem Begriff «Fels» in der Petrographie);

*Peat-deposit-species* = Moorprofil — Schichtenfolge der Torfarten von der Oberfläche bis zum mineralischen Untergrund;

*Peat-bed* = Torfflöz; Moor ist ein Gelände, das eine Torfdecke von über 30 cm Stärke besitzt. Diese Grenze ist in der UdSSR und einer Anzahl anderer Länder in Beziehung zur landwirtschaftlichen Nutzung der Moore angenommen. Für industrielle Ausbeutungen wird eine Mindestmächtigkeit von 70 cm zugrunde gelegt.

5. Die herkömmliche Einteilung der Moorgattungen nach der Häufigkeit der erhaltenen Pflanzenreste sollte künftig nach genetischen Merkmalen (*L. von Post*) vorgenommen werden, wie das bereits bei den Mooren des Moskauer und Leningrader Bezirks geschehen ist.

6. Die Einteilung der Torfablagerungen muß sich grundsätzlich nach dem Vorherrschen einiger Torfarten in der Schichtenfolge oder nach einem typischen Wechsel der Schichten richten. Die Torfarten werden zu Gruppen zusammengefaßt. In Rußland ist bereits eine Einteilung nach diesen Gesichtspunkten erfolgt.

7. Die Einteilung der Torflagerstätten ist bis jetzt noch nicht erfolgt.

8. Nach den Richtlinien der Einteilung der Torfablagerungen hat das Russische Moor-Institut eine Methode zur Aufnahme von Mooren ausgearbeitet. Eine Vereinheitlichung der Pläne kam der torfverarbeitenden Industrie zugute.

9. Aufgabe der Moorologie ist es, die typischen Torflagerstätten nach geomorphologischen und hydrogeologischen Gesichtspunkten zu bestimmen und zu kartieren (mit den nötigen Angaben über die stratigraphischen und physiko-geographischen Merkmale). Diese Kartierung dient einerseits der regionalen Anordnung von Kraftwerken und landwirtschaftlichen Kulturen, andererseits auch wissenschaftlichen Zwecken.

Ich stelle den folgenden *Entschließungsantrag*:

«Es wird vorgeschlagen, an der besonders in praktischer Hinsicht in Mitteleuropa seit langem aufs beste bewährten und allgemein eingeführten Einteilung der Moore in die drei großen Gruppen der Hoch-, Niederungs- und Übergangsmoore festzuhalten und unbeschadet weiterer Kennzeichnung (z. B. in botanischer Hinsicht) die einzelnen Gruppen wie folgt zu charakterisieren:

1. *Hochmoore* sind oligotrophe, ombrogene, supraaquatische, auch soligene Moorbildungen;

2. *Niederungsmoore* sind eutrophe, topogene, infraaquatische Moore;

3. *Übergangsmoore* sind mesotrophe, topo- bis ombrogene, auch soligene Moorbildungen.»

## Diskussion.

**Brüne:** Es ist dem Verlangen *Gherassimovs* grundsätzlich und mit allem Nachdruck zuzustimmen, daß als Voraussetzung für eine international allgemein annehmbare Einteilung der Moore eine einheitliche Begriffsauffassung und Einigung über die hauptsächlichsten Fachausdrücke als unentbehrlich anzusehen ist. Es ist daher zu begrüßen, daß in dem vom Benennungsausschuß der 6. Kommission zunächst in deutscher, englischer und französischer Sprache vorbereiteten kulturtechnischen Wörterbuch auch alle wichtigeren Fachausdrücke aus dem Gebiete der Moorkunde Aufnahme finden sollen.

In sachlicher Hinsicht unterstütze ich den von *Spirhanzl* (CSR) gestellten Antrag, die alte, besonders in Deutschland, dem Ursprungslande der wissenschaftlichen Moorforschung, allgemein angenommene Einteilung der Moore in *Hochmoore*, *Übergangsmoore* und *Niederungsmoore* beizubehalten, unbeschadet des Umstandes, daß eine ergänzende Beschreibung der einzelnen Moortypen in topographischer, botanischer und klimatologischer Hinsicht erfolgen kann.

Wichtig ist eine genaue Festlegung der Begriffe «Moor» und «Torf». «Moor» ist nach deutscher Auffassung als der übergeordnete *geologisch-geographische* Begriff anzusehen, also als ein Gelände, während die Bodensubstanz der Moore aus «Torf» besteht. Dieser letztgenannte Begriff ist infolgedessen als *mineralogisch-petrographischer* Begriff in die neuere Bodenkunde eingegangen. Und zwar versteht man in Deutschland darunter ein überwiegend aus abgestorbenen pflanzlichen, teils auch tierischen Organismen durch den Vorgang der Vertorfung entstandenes, an der Luft sich dunkel färbendes, im natürlichen Zustande weiches Mineral.

Wichtig ist ferner eine internationale Einigung über die Stärke der Torfschicht, die den Charakter eines als Moor zu bezeichnenden Geländes begründet. *Spirhanzl* hat als Mindestmächtigkeit 50 cm, *Gherassimov* dagegen nur 30 cm angegeben. In Deutschland verlangte man seither auf Grund eines Vorschlages der Moor-Versuchsstation Bremen nur 20 cm Torf im entwässerten Zustande (ohne Einrechnung der Pflanzendecke). Nach den neuen Richtlinien der Reichsbodenschätzung, die in diesem Jahre mit der beschleunigten Durchführung der deutschen Moorkartierung beauftragt worden ist, ist dagegen die Grenze der Torfschicht, die einem Gelände noch die Bezeichnung als Moor sichert, ebenfalls auf 30 cm festgesetzt. Ich würde es daher begrüßen, wenn man sich allgemein auf 30 cm einigen könnte. Das hätte den großen Vorteil, daß die Angaben der Moorstatistik im In- und Auslande endlich eine gleichmäßige Grundlage erhalten würden.

Im Interesse der Einfachheit der Begriffsfestlegungen kann m. E. im Gegensatz zu *Spirhanzl* darauf verzichtet werden, den Begriff «Moorboden» noch näher zu umschreiben. Landwirtschaftlich gesprochen ist ohne Zweifel — in Analogie mit der sonstigen Bodenkunde — die obere 20—30 cm starke Schicht eines Moores als Moorboden schlechthin zu bezeichnen. Nach deutscher Anschauung erscheint es auch nicht angebracht, zwischen «anmoorigen Böden» und «Moorerden» einen begrifflichen Unterschied zu machen. Die an-

moorigen Böden bilden im allgemeinen den Übergang zwischen den eigentlichen Moorböden und den sie umgebenden Mineralböden und sind in der Regel durch Flachgründigkeit (20–30 cm) gekennzeichnet. Das Bodenmaterial der anmoorigen Böden besteht aus der sogenannten Moorerde und ist dadurch gekennzeichnet, daß dem meist strukturlosen, stark vermoderten Torf große Mengen mineralischer Stoffe — 40% der Trockenmasse und mehr — beigemischt sind.

Namentlich im Hinblick auf die *landwirtschaftliche Verwertung* der Moorböden spielt bekanntlich der Kalkgehalt sowie der Gehalt an sonstigen wichtigen Pflanzennährstoffen eine maßgebende Rolle. *Fleischer* hat als erster die chemische Zusammensetzung der Moorböden mit ihrer Einteilung in Hoch-, Niederungs- und Übergangsmoore in Beziehung gebracht. Dabei konnte er feststellen, daß ausgesprochene Hochmoore, aus reinen Sphagnum-Torfen bestehend, in der Trockensubstanz höchstens 0,5% CaO enthalten, während der Kalkgehalt bei ausgesprochenen Niederungsmooren mindestens 2,5% betragen soll. Moorböden, die in ihrem Kalkgehalt zwischen 0,5 und 2,5% liegen, rechnet man in Deutschland sämtlich zu den Übergangsmooren, und zwar auch dann, wenn bestimmte Torfarten, wie z. B. Braunmoos-Seggen-Torfe ihrer botanischen Zusammensetzung nach, streng genommen, zu den Niederungsmooren gerechnet werden müßten. Jedenfalls besteht die Tatsache, daß sich diese Kennzeichnung der Moorböden nach agrikulturchemischen Gesichtspunkten in der deutschen Moorkultur aufs beste bewährt hat. Dabei soll ruhig zugegeben werden, daß die *wissenschaftliche* Moorforschung bei der Untersuchung der verschiedenen Torfarten nach wie vor auch andere Wege gehen kann.

**Freckmann:** Ich möchte mich dem Antrag des Hauptberichterstatters unbedingt anschließen, an den alten Bezeichnungen Niederungs-, Übergangs- und Hochmoor festzuhalten und es je nach Bedarf den einzelnen Stellen zu überlassen, eine andere Bezeichnung zu wählen. Ferner halte auch ich es für zweckmäßig und notwendig, daß wir uns auf eine bestimmte Mindeststärke der Torfschicht für die Bezeichnung einer Fläche als Moor einigen, und zwar in vorgeschlagenem Sinne auf eine solche von 30 cm. Es ist wirklich nötig, daß wir endlich einmal dazu kommen, auf Bezeichnungen wie Flach-, Zwischen- und Grünlandmoor zu verzichten, die immer wieder zu Irrtümern und fehlerhaften Vorstellungen führen. Es wäre zu überlegen, ob man nicht die zu den Übergangsmooren gehörigen Typen auf zwei Arten beschränken will, nämlich auf solche mit hochmoorartigem und solche mit niederungsmoorartigem Charakter, also auf Übergangshochmoore und Übergangsniederungsmoore.

**Rinne:** Die Einteilung der Übergangsmoore in niederungs- und hochmoorartige hat praktisch eine sehr große Bedeutung.

Nach einer eingehenden Beratung über die zur Kennzeichnung einer Fläche als Moor erforderliche Mindeststärke der Torfschicht, an der sich *Rinne*, *Brüne*, *Freckmann* und *Spirhanzl* beteiligten, wurde die *Entschließung zum Punkt Einteilung der Moorböden* in der auf Seite 582 in deutscher, auf Seite 586 in französischer und auf Seite 590 in englischer Sprache wiedergegebenen Fassung angenommen.

**Entwässerung und Sackung der Moorböden.**  
**L'assainissement et les affaissements des sols tourbeux.**  
**Drainage and shrinking of peat soils.**

Abhandlungen Nr. 39—44, Seite 293—340.

**Brüne** als Hauptberichterstatter: *Dittrich* führt zur Entwässerung der Gebirgsmoore (S. 293) folgendes aus: Mit abnehmender geographischer Breite ziehen sich in Mitteleuropa die ombrogen bedingten Moorbildungen in das Bergland zurück, so in der CSR, die mit 36 000 ha Moorland zu den moorarmen Ländern Europas gehört. Die Moore finden sich hier am häufigsten in den noch einigermaßen atlantisch beeinflussten Randgebirgen Böhmens, wo sie die Hälfte der ganzen Moorfläche des Staates erreichen.

Wichtig für die Moorentwässerung ist eine genaue Kenntnis der naturwissenschaftlichen Grundlagen der Moorbildungen, besonders der Zusammenhänge zwischen dem Gefälle des mineralischen Mooruntergrundes und der Moorbildung. *Dittrich* hat m. W. das Verdienst, auf diese Zusammenhänge als erster hingewiesen zu haben. Er konnte feststellen, daß ein um so geringeres Gefälle zur Bildung eines Moosmoors (Hochmoors) erforderlich war, je geringer die Seehöhe war. Die Bedeutung des Gefälles ist derart weitgehend, daß sogar die Vegetationszonen der Moosmoore von ihm abhängen.

Die Entwässerung der Gebirgsmoore muß wie überall nach dem Schichtenplan des Untergrundes erfolgen. Die Vorfluter werden in die natürlichen Entwässerungsrinnen der Rillen verlegt und gegen Auswaschungen mit Holzschwellen und Schwartelwänden gesichert. Sie erhalten im Moostorf zweckmäßig steile Böschungen im Verhältnis 4 : 1 und von 1,5 zu 1,5 m, von der Grabensohle an gerechnet, Bermen von 1,0 m Breite. Das Steilgefälle der Vorfluter gibt die Möglichkeit, die große Zahl der Nebengräben 1. Ordnung in ein annehmbares Gefälle (unter 1%) zu bringen. Die Entfernung der meist parallel verlaufenden Gräben 1. Ordnung beträgt je nach Torfart und Niederschlag 50—100 m, ihre Tiefe kann auch über 2 m erreichen, ihre Sohlenbreite wird mit 80 cm bemessen. Notfalls wird die Entwässerung durch 60 cm tiefe Nebengräben 2. Ordnung, die die Richtung der Vorfluter haben, verstärkt.

Derartig entwässerte Moore befriedigten vollkommen und zeigten namentlich dann keine Zeichen zu starken Wasserentzuges, wenn ihre Entwässerung dem jeweiligen Nutzungszweck (Torfgewinnung oder land- bzw. forstwirtschaftlicher Nutzung) angepaßt wurde. Landwirtschaft ist in Hochlagen auf allen Torfarten möglich, Forstwirtschaft nur auf Bruch- und Ried-, nicht aber auf Moostorf.

Das von *Rothe* behandelte «Große Moosbruch» (S. 299) liegt in den Kreisen Labiau und Niederung der Provinz Ostpreußen. Es hat eine Gesamtgröße von 17 500 ha und besteht nur zum kleineren Teile aus Hochmoor, zum größeren aus Niederungsmoor. Mit der Besiedlung des Moores wurde schon unter der Regierung Friedrichs des Großen um

die Mitte des 18. Jahrhunderts begonnen. Die damals gegründeten 18 dörflichen Siedlungen krankten aber bis zur Gegenwart hauptsächlich daran, daß sie nur eine durchschnittliche Größe von 2,5 ha hatten. Ihre unbefriedigende Entwicklung gab dem preußischen Staate im Jahre 1920 Veranlassung zur Inangriffnahme einer Urbarmachung großen Stils.

Da das in Rede stehende Mooregebiet fast unmittelbar an das Kurische Haff grenzt und außerdem von drei schiffbaren Flüssen, dem Nemonienstrom, dem Timber und der Laukne, durchströmt wird, gestaltete sich die Regelung der Wasserverhältnisse ziemlich schwierig. Um den Haffrückstau und Überschwemmungen zu verhindern, war zwar schon im Jahre 1909 im Nemonienstrom eine Schleuse gebaut worden. Aber ein voller Erfolg der Melioration machte sehr bald den Bau von Poldern und Schöpfwerken notwendig. Bisher sind im ganzen 1 Polder mit zusammen 13 356 ha fertiggestellt, mit einem Kostenaufwand von etwa 25 Millionen *RM*. Die Schöpfwerkskosten betragen 7–14 *RM* für 1 ha.

Die vom Kulturbauamt Königsberg ausgeführte Bedeichung der Flußläufe wurde zuerst auf + 1,80, später auf + 2,00 m NN gelegt. Das höchste beobachtete Hochwasser (1889) erreichte eine Höhe von + 1,86 m NN.

Zur Zeit befinden sich 12 Schöpfwerke mit Kreisel- bzw. Schraubenpumpen von 0,75–1,50 ckm sekundlicher Leistung im Betriebe; 11 haben elektrischen Antrieb, eines wird mit Dampfkraft betrieben.

Die seither urbar gemachten Moorflächen sind teils durch offene Gräben in 40–100 m Abstand, teils durch hölzerne Dreiecksdräne entwässert. Die Dräntiefe beträgt im Durchschnitt 1,10 m, die Strangentfernung im Hochmoor 20, im Niederungsmoor 25 m. 4–6 Sauger sind zu einem System zusammengefaßt. Das Gefälle ist sehr gering und beträgt nur 0,1–0,2‰. Im Hochmoor, wo das Gefälle größer ist, sollen künftig Staukästen eingebaut werden, um den Grundwasserstand im Sommer höher halten zu können. Im Niederungsmoor läßt sich der Grundwasserstand durch das Schöpfwerk regeln.

In den Hochmoorgebieten, die nur langsam in Angriff genommen werden können, wurden seit dem Beginn der Entwässerung Sackungen bis zu 2,0 m beobachtet. Da noch kein Beharrungszustand eingetreten ist, so konnten bisher nur vereinzelte Siedlungen angelegt werden.

Die sonstigen eingehenden Ausführungen beschäftigen sich mit der Durchführung der Urbarmachung und Besiedlung und können daher, als nicht unmittelbar zum Verhandlungsgegenstand gehörig, an dieser Stelle übergangen werden.

W. Weir berichtet über seine 14jährigen Beobachtungen der Moorsackung im Sacramento-San Joaquin-Delta in Kalifornien (S. 304). Dieses ungefähr 200 000 acres umfassende Gebiet stark humushaltigen Bodens liegt am Zusammenfluß des Sacramento- und des San Joaquinflusses, ungefähr 50 Meilen landeinwärts von San Francisco. Es setzt sich aus einer Anzahl von Inseln zusammen, die durch Deiche gegen Überschwemmungen geschützt sind und aus Moor-

land von stellenweise 40 Fuß und mehr Mächtigkeit bestehen. Die gesamte Fläche befindet sich in Kultur. Ihr ursprünglicher Oberflächenhorizont lag angenähert in Höhe des Meeresspiegels, während seit der Urbarmachung eine fortschreitende Sackung stattgefunden hat. Die seit 1922 angestellten Untersuchungen beschränken sich auf drei Inseln, die sich lediglich im Alter ihres Kulturzustandes unterscheiden. Die jüngste Insel, Mildred Island, wurde im Jahre 1921 kultiviert, während Lower Jones Tract bereits 1902 urbar gemacht wurde. Die während der Beobachtungszeit festgestellten Sackungen betragen 1 bzw. 2 Fuß. Die dritte Insel, Bacon Island, nimmt sowohl im Alter des Kulturzustandes, als auch im Maß der beobachteten Sackung eine Mittelstellung ein.

Die Erscheinung der Sackung wird auf folgende Vorgänge zurückgeführt:

1. Geologische Sackung des Gesamtgebiets,
2. Zusammenpressen durch schwere Ackerbaugeräte,
3. Schrumpfung durch Trockenheit,
  1. Oxydation der organischen Bestandteile,
5. Brennen,
6. Windverwehungen.

Das Brennen, das man zum Ausmerzen von Unkraut und Pflanzenkrankheiten betreibt, wird als Hauptgrund für die Sackung angesehen, wenn auch Oxydation und Windverwehungen wahrscheinlich merklich zu dieser Erscheinung beisteuern. Die andern Ursachen hat man zwar festgestellt; sie können jedoch nicht exakt meßtechnisch ausgewertet werden wegen der zu kurzen Beobachtungszeit und der angewandten Meßmethode.

Stellenweise hat die Sackung zur Zeit einen Stand von 9–10 Fuß unter dem Meeresspiegel erreicht. Diese Feststellung gewinnt wirtschaftliche Bedeutung wegen der steigenden Entwässerungskosten und der wachsenden Alkalisalzkonzentration im Boden einerseits und der verminderten Sicherheit des Deichschutzes andererseits.

Das Brennen ist die einzige Ursache, der gesteuert werden kann, und es ist aus diesem Grunde schon die Aufforderung ergangen, das Brennen einzustellen.

*F. Zunker* (S. 315) hat die Beobachtungen von *Krüger* und *Saraup* in den Jahren 1892–1909 über die Abflußverhältnisse und Sackungserscheinungen bei der Entwässerung des an der Unterelbe gelegenen, ehemals sehr tiefen Kehdinger Hochmoores nach der Korrelationsmethode ausgewertet. *Zunker* kommt auf diese Weise zu anderen Schlußfolgerungen als die eingangs genannten Autoren, von denen die wesentlichsten hier genannt seien:

1. Die Abnahme der Abzapfung und der Abflußmenge von 1900 bis 1909 beträgt bei mittleren Niederschlägen jährlich 16 mm.

2. Die Abzapfung des Moores vom November 1900 bis Oktober 1909 beträgt 857 mm. *Zunker* will sie auf eine ebenso große Moorsackung zurückführen.

3. Unter der Voraussetzung gleicher Niederschläge ist die Abzapfung und somit annähernd auch die Sackung des Kehdinger Moores im ersten Entwässerungsjahr 1892 um 223 mm größer als im Jahre 1909.

4. Im Kehdinger Moor hängt der Abfluß stärker von den Niederschlägen des gleichen Zeitraums und weniger von denen des vorhergehenden Halbjahres ab, als in dem zum Vergleich herangezogenen mineralischen Allergebiet. Das Speicherungsvermögen des durch offene Gräben aufgeschlossenen Moores ist demnach geringer.

5. Der Abfluß im Kehdinger Moor ist gegenüber dem Abfluß im mineralischen Allergebiet im Winter verhältnismäßig stärker als im Sommer. Auch das zeugt nach *Zunker* von einem geringeren Speicherungsvermögen des durch offene Gräben aufgeschlossenen Moores.

6. Im Kehdinger Moor vermindert eine Zunahme der Niederschläge im Winter den Abfluß im nachfolgenden Sommer.

7. Die Abzapfung des Moores nimmt im entgegengesetzten Sinne wie der im gleichen Zeitraum fallende Niederschlag zu und ab.

8. Im Sommer ist die Abzapfung und demgemäß auch die Sackung des Moores stets positiv und durchschnittlich  $7\frac{1}{2}$  mal größer als im Winter.

Zusammenfassend wird von *Zunker* gefolgert, daß die Abflußzahlen und die Spitzen der Hochwasser bei Beginn der Moorentwässerung in erheblichem Maße vergrößert werden, und daß auch noch in späteren Jahren ein geringeres Aufspeicherungsvermögen für große Niederschläge zurückbleibt. Während man dem ersten Teil des Satzes auf Grund der vorliegenden praktischen Beobachtungen zustimmen kann, muß gegen den Nachsatz geltend gemacht werden, daß die in Kultur befindlichen Hochmoore, besonders bei der heute meist üblichen Entwässerung durch *Dränung*, ohne jeden Zweifel ein besonders großes Aufspeicherungsvermögen für die Niederschläge besitzen. Durch Abzapfung und Sackung soll sich nach *Zunker* eine nach den offenen Gräben hin abfallende, zunehmend gewölbte Beetform ausbilden, die den Abfluß der Hochwasser begünstigt und die Versickerung und Aufspeicherung der Niederschläge für die Zeiten der Niedrigwasser vermindert. *Zunker* fügt zwar ausdrücklich hinzu, daß die Dinge bei *gedrängten* Hochmooren sehr wahrscheinlich anders liegen. Es muß aber hervorgehoben werden, daß auch durch offene Gräben entwässerte Hochmoorkulturen nach den Beobachtungen der Bremer Moor-Versuchsstation ohne jeden Zweifel sehr viel mehr Niederschlagswasser aufzuspeichern vermögen als z. B. Lehm- und Tonböden. Die den Wasserabfluß bei sehr starken Niederschlägen begünstigende Wölbung der Beete tritt erfahrungsgemäß wohl auf gedrängten, fast nie aber auf durch flache Binnengräben entwässerten Moorflächen auf.

*Hallakorpi* teilt zur Frage der Moorsackung (S. 332) die Ergebnisse seiner im Sommer 1936 durchgeführten Untersuchungen mit, die die Sackung kultivierter Moorflächen in der karelischen Versuchsstation des Finnischen Moorkulturvereins betreffen. Der Flächeninhalt der untersuchten Kulturen betrug etwa 15 ha. Die Moortiefe schwankte zwischen 0,5 und 7,3 m. Der Boden des untersuchten Moores besteht fast in seiner ganzen Tiefe aus Wald-Seggen-Sphagnum- und Sphagnum-Seggen-Wald-Torf oder deren Zwischenformen. Das Moor ist somit während seiner ganzen Wachstumszeit ein mit Wald — teils Nadel-, teils Laubholz — bestandenes Carex- und Sphagnum-

Moor gewesen. Sein Zersetzungsgrad schwankt zwischen 6 und 8, ist aber stellenweise größer.

Das untersuchte Moor ist zwar schon seit der Begründung der Versuchsstation bzw. seit 1922 allmählich urbar gemacht worden, aber es wurde zunächst durch offene Gräben entwässert. Erst im Jahre 1930 wurden die Gräben durch 1,2 bis 1,4 m tief verlegte Dräne ersetzt. Zur Beurteilung der Sackungserscheinungen stand daher im Jahre 1936 ein Zeitraum von 6 Jahren zur Verfügung. Die Untersuchungen wurden in der Weise durchgeführt, daß im Jahre 1936 ein neues Nivellement erfolgte und die Tiefen der Dräne sowie die Stärken der Torfschichten an den Nivellementspunkten gemessen wurden. Außerdem wurden mit dem Moorbohrer für Laboratoriumsuntersuchungen Torfproben entnommen. Die so erhaltenen Ergebnisse sind mit den Zahlen des Oberflächennivellements von 1930 und dem Nivellementsprotokoll der vor der Dränung ausgeführten Peilung verglichen worden.

Aus den graphisch dargestellten Beobachtungsergebnissen ist trotz der nicht unbeträchtlichen Abweichungen zu folgern, daß die Sackung um so größer gewesen ist, je mächtiger das Torflager an der Beobachtungsstelle war. Nach Ansicht des Verfassers wird die Größe der Sackung bei jedem Moor in erster Linie eine Funktion der Torftiefe  $T$ , der Dräntiefe  $D$  und der durch den Anbau an der Oberfläche verursachten Abnutzung  $K$  des Moores darstellen. (Nach deutscher Auffassung sind als weitere wichtige Faktoren die botanische Zusammensetzung des Torfs, sein Zersetzungsgrad sowie der Wassergehalt des betreffenden Moores zu nennen.) *Hallakorpi* glaubt, für die Sackung  $S$  folgende Gleichung aufstellen zu können:

$$S = a \cdot T + b.$$

Darin stellt  $a$  eine Zahl dar, die den Einfluß der Torftiefe auf die Größe der Sackung angibt, und  $b$  eine Zahl, die von den Faktoren  $D$  und  $K$  abhängig ist.

Auf Grund des vorliegenden Beobachtungsmaterials ist auf dem untersuchten Moor die Sackung nach der Formel

$$S = 0,10 \cdot T + 0,20$$

eingetreten, nach der die Sackung also 10% der Torftiefe, vermehrt um den Wert  $b = 0,20$  m, ausgemacht hat. Der Verfasser hält jedoch an sich einen Wert von 0,10 für  $b$  richtiger.

Der Verfasser vergleicht zum Schluß seine Ergebnisse mit den von *Stenberg* über die schwedischen Gisselas-Moore und von *Gerhardt* über deutsche Moore veröffentlichten Sackungszahlen, um dabei zu dem Urteil zu kommen, daß die Verschiedenartigkeit der Moore noch weitere sehr eingehende Untersuchungen des Sackungsproblems erfordern wird.

*Entschließungsantrag* siehe Seite 582.

### Diskussion.

**Freckmann:** Ich bitte, zu erwägen, ob es nicht angezeigt wäre, einheitliche, internationale Richtlinien für die Erforschung der



Sackungserscheinungen der Moore aufzustellen. Ich habe immer beobachtet, daß man überall verschieden vorgeht und daß man die Sackungserscheinungen nicht einheitlich genug untersucht.

**Brüne:** Es wäre sehr zu begrüßen, wenn wir in absehbarer Zeit zu einheitlichen Richtlinien für die Erforschung der nach der Entwässerung bzw. Kultivierung der Moorböden eintretenden Sackungserscheinungen kommen könnten. Im Deutschen Ausschuß für Kulturbauwesen ist das Problem der Moorsackung seit zwei Jahren in Bearbeitung, und zwar sind die Moor-Versuchsstation in Bremen und das Institut für Kulturtechnik an der Universität Breslau mit den Untersuchungen beauftragt. Ich hoffe, daß sich aus den Ergebnissen später einmal internationale Richtlinien entwickeln lassen werden. Es ist aber zu beachten, daß es sich um ein außerordentlich schwieriges Problem handelt, das nicht leicht zu lösen sein wird.

Die vom Hauptberichterstatter beantragte, auf Seite 582 in deutscher, auf Seite 586 in französischer und auf Seite 590 in englischer Sprache wiedergegebene *Entschleißung zum Punkt Entwässerung und Sackung der Moorböden* wird hierauf unverändert angenommen.

#### **Kalkung und Düngung der Moorböden.**

**Le chaulage et l'engraisement des sols tourbeux.**

**Liming and manuring of peat soils.**

Abhandlungen Nr. 45 - 54, Seite 345 - 410.

**Brüne** als Hauptberichterstatter: Die Arbeit von *J. C. Feustel*: «Fraktionierung und Titration der sauren Bestandteile des Torfes» (S. 345) behandelt die Chemie des Torfes und fällt infolgedessen nicht in den Rahmen der heutigen Verhandlungen.

Die Arbeit von *J. R. Neller*: «Die Wirkung des Regens und des Untergrundes auf die Zusammensetzung des Bodenwassers der Moorböden von Süd-Florida» (S. 388) steht ebenfalls nur in sehr losem Zusammenhang zur Tagesordnung. Die näher untersuchte Fläche besteht aus Schneidentorf (*Cladium*), der eine Tiefe von 6 - 7 Fuß hat. Der Wasserspiegel wurde während einer Zeit von 6 Jahren 20 bis 24 Zoll unter der kultivierten Oberfläche gehalten. Der Gehalt des Bodens an löslichen Chloriden und in geringerem Maße der des Bodenwassers wurde durch die Auslaugung, die während der Regenzeit eintritt, vermindert und gegen Ende der Trockenzeit wieder vermehrt. Die Konzentration der Chloride oder anderer Ionen war jedoch zu keiner Zeit hoch genug, um auf das Wachstum des Getreides hindernd einzuwirken.

*L. G. Willis* (S. 406) berichtet, daß weite Flächen von humosen Böden im östlichen Nord-Carolina, vom humosen Schlick (muck) bis zum Moorboden, seit ihrer Urbarmachung wieder unfruchtbar geworden sind, nachdem sie anfänglich außerordentlich hohe Ernten ge-

liefert hatten. Eine Kalkung hatte, obgleich der Boden ziemlich sauer ( $\text{pH} = 3,8$ ) war, nur einen sehr begrenzten Erfolg. Eine Kalidüngung wirkte bei Mais günstig, Phosphate wirkten dagegen sogar schädlich.

Bei Betrachtung der Oxydations- und Reduktionsvorgänge stellte sich heraus, daß der Hauptmangel dieser Böden auf der reduzierenden Wirkung der mikrobiellen Zersetzung der organischen Bodensubstanz beruhte und eine Anreicherung von löslichem, schädlich wirkendem Eisen zur Folge hatte. Kupfer- und Mangansulfat (letzteres weniger) wirkten als Katalysatoren außerordentlich günstig, indem sie die Oxydation beschleunigten und die Aufnahme von schädlich wirkendem Eisen durch die Getreidepflanzen verhinderten. Feldversuche zeigten, daß das Kupferbedürfnis besonders auf solchen humosen Schlickböden hervortrat, bei denen die mineralische Beimengung aus Sand bestand. Wo mineralische Kolloide in reichlicher Menge vorhanden waren, wurde keine Kupferwirkung festgestellt.

Ebenso wie bei der Behandlung des Bodens eine günstige Wirkung erzielt wird, kann auch die gleiche Wirkung durch Bespritzung der Blätter mit Kupfersulfatlösung erreicht werden. Willis ist im übrigen der Ansicht, daß die Anwendung von Kupfersulfat nur während der ersten Zersetzungsperiode der organischen Substanz in Frage kommen werde.

Weiter wird kurz Stellung genommen zu dem Problem der Anwendung künstlicher Düngemittel und der Funktion der organischen Substanz im Boden.

Um das Düngerbindungsvermögen des Moorbodens zu studieren, führten B. D. Wilson und E. V. Staker (S. 357) einen 5jährigen Gewächshausversuch durch und wuschen anschließend den Moorboden mit destilliertem Wasser aus. Als Versuchsboden diente ein mit Holzfasern durchsetzter Moorboden mit einem  $\text{pH}$ -Wert von 5,2. N,  $\text{P}_2\text{O}_5$  und  $\text{K}_2\text{O}$  wurden in Form chemisch-reiner Salze mit einer 5 Zoll dicken Oberflächenschicht einiger Gefäße gemischt. Der Dünger wurde in verschiedener Menge und in verschiedenen Abständen gegeben. Als Versuchspflanzen dienten in jedem Jahre nacheinander Karotten und Spinat. Einige Gefäße wurden nicht besät. Nach jeder Ernte wurden die Böden vollständig ausgewaschen und sowohl das Washwasser als auch die Ernte analysiert, um die Abhängigkeit der Auswaschbarkeit der Pflanzennährstoffe von der verschiedenartigen Behandlung der Böden zu ermitteln. Die Ergebnisse waren wie folgt:

Aus dem unbepflanzten Boden wurde der Stickstoff verhältnismäßig stark ausgewaschen. Der Boden der bebauten Gefäße wies jedoch keine nennenswerten Beträge an Stickstoff auf. Phosphorsäure und Kali wurden dagegen in erheblichem Maße vom Boden zurückgehalten. Die Ursache für die Bindung der Phosphorsäure wurde nicht aufgedeckt. Dagegen lassen die Ergebnisse darauf schließen, daß ein großer Teil der Kaligaben durch Austausch gegen Kalk vom Boden absorbiert wird. Jedenfalls ließ sich Kalk im Washwasser weitaus am meisten nachweisen.

In der Art der Auswaschbarkeit der Düngemittel besteht zwischen den untersuchten Humusböden und Mineralböden eine nahe Be-

ziehung. Der auffallendste Unterschied ist wohl das Vorkommen meßbarer Mengen von Phosphorsäure im Waschwasser der Humusböden.

Das Neue auf dem Gebiete der Moorkultur in der UdSSR, von dem *M. W. Dokukin* (S. 401) berichtet, besteht in der Hauptsache darin, daß die Moore nicht mehr ausschließlich zur Gewinnung von Brennmaterial und Humusdünger, sondern neuerdings auch durch Kultivierung zur Erweiterung der landwirtschaftlichen Produktion benutzt werden. Nach überschläglicher Berechnung sind in Rußland zur Zeit rund 80 000 ha in landwirtschaftlicher Nutzung, und etwa  $\frac{1}{2}$  Million ha sind in Vorbereitung. Die Hauptbezirke der Moorkultur sind in der Weißrussischen SSR, im Westgebiet, in der Ukrainischen SSR und in Karelien zu finden.

Die Leitung der Forschungsarbeit auf dem Gebiete der Urbarmachung der Moore liegt in den Händen des Zentralen Wissenschaftlichen Instituts für Moorkultur in Minsk. Daneben bestehen eine Reihe von hydrotechnischen Instituten in den größeren Moorbezirken.

Auf dem hier im Vordergrund stehenden Sondergebiete der *Düngung* von Moorböden beschäftigten sich die Sowjetkulturtechniker in den letzten 10 Jahren vor allem mit folgenden drei Fragen:

1. Ursachen und Bekämpfung der sogenannten *Urbarmachungskrankheit*.

2. Das Düngbedürfnis der Moorböden bei verschiedenen Früchten.

3. Unkrautbekämpfung mit chemischen Mitteln.

Die erzielten Ergebnisse liegen im ganzen in der gleichen Richtung wie in anderen Ländern.

Über die Düngung der Torfmoore in den ersten und nachfolgenden Jahren der Bewirtschaftung berichtet *B. Świątchowski* (S. 378) das Folgende:

1. Die Zersetzung der organischen Torfsubstanz geht in der Richtung der Verarmung des Bodens an leicht zersetzbaren und dessen Anreicherung an schwerer zersetzbaren Stoffen vor sich.

2. Im Laufe der Torfzersetzung vermindert sich zwar nicht quantitativ, doch ändert sich ungünstig qualitativ die im Boden wichtigste Gruppe der Stickstoffverbindungen (Nitrate).

3. Bei einem kleinen Vorrat an Phosphorsäure erschöpft sich die leicht assimilierbare Phosphorsäure rasch, und es tritt in der Regel bald ein Phosphorsäurehunger auf.

4. Der natürliche Kalivorrat aller «echten» Moore ist klein. Trotzdem kann der Zersetzungs Vorgang gelegentlich eine stärkere Mobilisierung des Kalis hervorrufen.

5. Der Zersetzungsprozeß des Torfes verursacht nach *Brenner* eine Zunahme der Bodenazidität. Die landwirtschaftliche Nutzung führt bei Unterlassung der Kalkung allmählich zum Auswaschen des Kalkes.

6. Die Zersetzung des Torfes ändert die physikalischen und biochemischen Bodeneigenschaften im ungünstigen Sinne. Es tritt vor allem eine Verminderung der Wasser- und Luftkapazität und eine Verminderung der Durchlässigkeit ein.

7. Eine Änderung der chemischen und physikalischen Eigenschaften des Torfes zwingt zur Änderung der Düngung stärker zer-

setzter Moorböden. Hohe Kali- und Phosphorsäuregaben erweisen sich oft im Gegensatz zu den ersten Jahren nicht mehr als wirtschaftlich. Dagegen wächst der ertragsteigernde Einfluß einer Stickstoff- und besonders einer organischen Düngung.

8. Die bisher mitgeteilten Vorgänge sollen angeblich für jeden Moortyp zutreffen. Der Ansicht des Verfassers, daß die Fruchtbarkeit eines Moorbodens in erster Linie von der Torfart und in zweiter Linie von ihrem Zersetzungsgrade abhängt, ist unbedingt beizupflichten.

*L. Rinne* (S. 362) führt zur Kalidüngung der Niederungsmoore folgendes aus:

1. Niederungsmoorwiesen bedürfen auch in Estland neben der Phosphorsäure einer ausreichenden Kalidüngung. Die Stickstoffdüngung hat sich dagegen meist als nicht wirtschaftlich erwiesen.

2. Düngermangel hat stets einen Rückgang der wertvollen Wiesengräser zur Folge. Gleichzeitige Kaliphosphatdüngung der Wiesen verbessert die Heuerträge dagegen nicht nur hinsichtlich der Menge, sondern auch hinsichtlich der Güte.

3. Nur mittlere Kaligaben werden von den Niederungsmoorwiesen voll ausgenutzt. Sehr hohe veranlassen die Pflanzen dagegen zu einer Luxusaufnahme an Kali, ohne den Heuertrag selbst noch wesentlich zu erhöhen.

4. Die Ergebnisse der Düngungsversuche auf Niederungsmoorwiesen in Tooma zeigen bei reichlicher Kalidüngung eine gute Nachwirkung auf 3—4 Jahre hinaus.

5. Es hat den Anschein, als ob bei Kalimangel in kalkreichen Moorböden der Kalk das Kali wenigstens teilweise in seiner Wirkung zu ersetzen imstande ist (? *Br.*).

6. Zur Erzielung eines durchschnittlichen Jahresertrages von 50 dz luftgetrockneten Heus auf 1 ha ist in Tooma eine jährliche Gabe von 50 kg/ha Kali ausreichend. (In Deutschland ist auf Niederungsmooren durchschnittlicher chemischer Zusammensetzung mindestens die doppelte Kalimenge erforderlich. *Br.*)

*L. Rinne* berichtet ferner (S. 372) über mehrjährige vergleichende Düngungsversuche mit Superphosphat und «Eesti Phosphorit», einem im Unguliten-Sandstein Estlands vorkommenden Rohphosphat tierischer Herkunft (Muschel von *Obolus Apollinis*). Aus den Ergebnissen ist folgendes hervorzuheben:

Bei alljährlicher Düngung erreichte Eesti Phosphorit 61—89% der Wirkung des Superphosphats. Die anfängliche Düngerwirkung des Eesti Phosphorits war verhältnismäßig gering, die Nachwirkung jedoch besser als die des Superphosphats.

*Rinne* ist der Ansicht, daß ein verhältnismäßig reichlicher Gehalt des Niederungsmoorbodens an *Kalk* die Düngerwirkung des Eesti Phosphorits unter der Voraussetzung nicht behindert, daß der Boden schwach saure Reaktion (pH = 6,2—6,7) besitzt. «Beim Ansteigen des Kalkgehalts im Moorboden, so daß seine Reaktion sich dem Neutralpunkte nähert, verringert sich die düngende Wirkung der Phosphorsäure des Eesti Phosphorits.» Es fehlen leider Angaben über die Löslichkeit der Phosphorsäure des Eesti Phosphorits.

*Fr. Brüne* berichtet (S. 394) über neuere Kalkversuche der Moor-Versuchsstation in Bremen auf Hochmoorboden, deren Ergebnisse sich wie folgt zusammenfassen lassen:

1. Der früher hinsichtlich des Kalkbedarfs des Hochmoorbodens bei dauernder Ackernutzung eingenommene Standpunkt, daß bei entsprechender Gestaltung der mineralischen Düngung 20 dz/ha Kalk nicht nur ausreichend seien, sondern auch die optimale Grenze der Kalkzufuhr darstellten, ist auch heute noch grundsätzlich durchaus richtig. Notwendig ist aber, daß der zur Düngung erforderliche mineralische Stickstoff in Form physiologisch-alkalischer Düngemittel (z. B. Natronsalpeter) gegeben wird.

2. Nicht aufrechterhalten läßt sich dagegen eine schwache Kalkung mit 20 dz/ha CaO, wenn man die anspruchslosen bodenständigen Landsorten (vor allem bei Getreide) durch leistungsfähigere Zuchtsorten ersetzen und die alte einseitige Fruchtfolge durch Anbau von kalkliebenden Hülsenfrüchten und Klee grasbau verbessern will. Nach den mitgeteilten Versuchsergebnissen hat zwar erst die angewendete Kalkgabe von 60 dz/ha CaO bei allen Sortenversuchen den höchsten Durchschnittsertrag geliefert. Man wird aber trotzdem gut tun, vorläufig über eine Kalkgabe von 15 dz/ha CaO nicht hinauszugehen, zumal sie die Menge darstellt, die sich nach langjährigen Erfahrungen auch bei der Schaffung von Grünland auf Hochmoor im allgemeinen durchaus bewährt hat. Weitergehende Ansprüche an die Bodenreaktion (Annäherung an den Neutralpunkt) lassen sich durch Anwendung physiologisch-alkalischer Düngemittel entsprechend befriedigen.

*Entschließungsantrag:* Auf dem Gebiete der Kalkung und Düngung der verschiedenen Moorböden liegt zwar schon umfangreiches und wertvolles Material vor. Trotzdem hat die Forschung gerade auf diesem Gebiete noch wichtige Aufgaben zu lösen. Im Vordergrund der Untersuchungen sollten vor allem zwei Fragen stehen:

1. Das Kalkbedürfnis der verschiedenen Moor- bzw. Torfarten bei Acker- und Grünlandnutzung.

2. Auf welchen Ursachen beruhen die vielfach auf älteren Niederungsmoorböden beobachteten Ertragsrückgänge, und mit welchen Mitteln können sie wirksam verhindert werden?

### Diskussion.

**Rinne:** Meine Untersuchungen über die Kalidüngung der Moorböden dauerten ungefähr 15 Jahre. Es handelt sich also nicht um Zufallsergebnisse einzelner Versuche. Wir haben auch die botanische Kontrolle der Wiesenpflanzen durchgeführt. Interessant ist, daß *Poa pratensis* und *Festuca rubra* auch bei Kalimangel ausdauern. Der Luxuskonsum hat praktisch eine große Bedeutung. Wenn man die Menge des Kalis in der Düngung steigert, so kommt eine Grenze, von der ab keine Ertragssteigerung mehr stattfindet. Ich bin ganz davon überzeugt, daß bei Kalimangel Kalk teilweise an die Stelle von Kali treten kann. Das beweisen die Zahlen, die ich meiner Abhandlung beigegeben habe und die sich mit anderen decken, die ich nicht beigegeben habe.

Die Phosphoritfrage ist für uns von großer Bedeutung. Es handelt sich hier um fünf Versuche, die ebenfalls im Laufe der letzten 15 Jahre ausgeführt worden sind. Wir machten diese Versuche, weil sich in Estland entsprechende Phosphoritlager befinden und weil für Niederungsmoore bisher überhaupt kein Phosphorit empfohlen wurde. Die Niederungsmoore Estlands sind kalkreich und haben meist eine schwach saure Reaktion, die zwischen 6,2 und 6,7 pH liegt. Unter diesen Verhältnissen hat sich das Eesti Phosphorit recht gut bewährt.

**Zunker:** Seinerzeit hatte schon *Ehrenberg* das Kalk-Kali-Gesetz aufgestellt, wonach sich Kali und Kalk vertreten können. Wir haben nun bei unseren Versuchen mit der Abwasserverregnung in Schebitz in Erweiterung dieses Gesetzes festgestellt, daß das Kalium im Grase zum Teil auch durch das Natrium des Kochsalzes im Abwasser, verbunden mit einer Zunahme der Erdalkalien Ca und Mg, vertreten werden kann. Es können sich also die Alkalien und Erdalkalien in gewissem Umfange vertreten («Der Kulturtechniker» 1933, S. 375; 1934, S. 192). Es hat sich deshalb auch bei der Abwasserverregnung auf Grasland trotz des geringen Kaligehaltes des Abwassers der Stadt Breslau eine Kalizusatzdüngung als überflüssig erwiesen.

**Giesecke:** Die gezeigten Kali- und Kalkprozentzahlen der Ernte lassen darauf schließen, daß auch in diesen Fällen das Kalk-Kali-Gesetz von *Ehrenberg* seine Bestätigung findet. Aber pflanzenphysiologisch muß darauf hingewiesen werden, daß die Ionenwirkung des Ca'' und K' in bezug auf die Wasserführung und auf die Ausbildung von Eiweiß, Öl und Faser - also in bezug auf die qualitätsgebenden Stoffgruppen - bei kulturtechnischen Arbeiten berücksichtigt werden sollte, um zu exakten Unterlagen bei der Auswertung der Ertragsdifferenzen zu gelangen.

**Freckmann:** Es ist noch nicht restlos geklärt, bis zu welchem Grade der Kalk durch das Kali ersetzt werden kann. Auch wir haben uns mit der Verwendung verschiedener Naturphosphate beschäftigt und sie z. B. auch in verschiedener Weise in Niederungsmoorboden eingebracht, aber mit stets völlig negativem Erfolg. In Norwegen sind in den letzten Jahren auf Hochmooren Versuche über zusätzliche Düngungen mit Kupfer, Bor, Mangan u. a. gemacht worden. Es ist dringend notwendig, daß derartige Versuche auch in anderen Ländern angestellt werden. Ich schlage daher vor, dem Entschließungsantrag folgenden Satz anzufügen:

«Außerdem ist es wichtig, die Frage der Zusatzdüngung (Kupfer, Bor, Mangan usw.) und ihrer Wirkung auf den Boden und den Pflanzenertrag unter den verschiedensten Verhältnissen noch weiter zu klären.»

**Brüne:** Ich schließe mich den Ausführungen von Prof. *Freckmann* an, daß die von Prof. *Rinne* mitgeteilten Versuchsergebnisse noch keinen schlüssigen Beweis dafür erbracht haben, daß auf kalkreichen Niederungsmoorböden der Kalk das Kali bei der Düngung in gewissem Umfange zu ersetzen vermag. Des weiteren ist noch einmal zu betonen, daß mit so schwachen Kaligaben, wie sie in Est-

land angewendet werden, auf deutschen Niederungsmoorwiesen Höchsterträge nicht zu erzielen sind.

Zur Frage der Verwendung des Eesti Phosphorits ist auf Grund deutscher Untersuchungen zu bemerken, daß Rohphosphate afrikanischer Herkunft sich nicht zur erfolgreichen  $P_2O_5$ -Düngung ausgesprochener Niederungsmoorböden eignen. Möglicherweise macht das Eesti Phosphorit insofern eine Ausnahme, als es tierischer Herkunft ist und infolgedessen eine größere Pflanzenlöslichkeit besitzt als andere Rohphosphate. Inwieweit diese Annahme zutrifft, wird sich nur durch vergleichende Düngungsversuche mit Eesti Phosphorit und anderen Rohphosphaten entscheiden lassen.

**Hissink:** Zur Frage der Ersetzung von Kali durch Kalk kann ich das Ergebnis von Untersuchungen anführen, die wir auf unseren Marschböden und Außendeichböden gemacht haben. Das Heu der Außendeichböden ist kalkarm und kali- und natronreich, beim Heu der Polder ist das Umgekehrte der Fall. Wir haben hier also eine Ersetzung von Kali und Natron durch Kalk.

**Rinne:** Ich habe darauf aufmerksam gemacht, daß bei entschiedenem Kalimangel Kalk an Stelle von Kali treten kann; es wäre sehr interessant, wenn wir zur Klärung dieser Frage eine größere Anzahl von Versuchen und Untersuchungen hätten. Ich bitte in Nr. 1 des Entschließungsantrags hinter dem Worte «Kalkbedürfnis» die Worte «und die Düngung» einzufügen. Mit dem Zusatzantrag von Herrn Prof. Freckmann bin ich einverstanden.

Hierauf wird die *Entscheidung zum Punkt Kalkung und Düngung der Moorböden* in dem auf Seite 583 in deutscher, auf Seite 586 in französischer und auf Seite 590 in englischer Sprache wiedergegebenen Wortlaut einstimmig angenommen.

**Blanc:** Je voudrais savoir si dans les pays où se trouvent de grands étendues de tourbières on a utilisé le système de drainage Butz par tuyaux en bois et quels résultats on a obtenu.

**Brüne:** In Deutschland hat sich die Butzsche Kastendränung in ihrer ursprünglichen Form (Verwendung von Drahtnägeln) nur in ausgesprochenen Niederungsmooren bewährt, dagegen *nicht* in säurereichen Hochmoorböden, weil die Nägel durchrosten und die Kästen dann zusammenfallen. Die Erfahrungen waren erheblich besser, als man zur Verwendung der «Nirosta-Nägel» übergang bzw. die Drahtnägel durch *Holznägel* ersetzte.

**Ramsauer:** Die Butz-Dränung ist in Österreich natürlich noch in Verwendung. Doch hat Butz seit Jahren an Stelle der Drahtstifte Holzstifte verwendet, die maschinell eingebracht werden. Weiter werden größere Wandstärken (2 cm) angewendet, um die Widerstandskraft der Kästen ausreichend zu erhöhen.

Die Verwendung der Holzdränung, die übrigens nur für Torfböden in Frage kommt, hat auch große wirtschaftliche Bedeutung. Die Beteiligten können nämlich durch Liefern von Baumstämmen, die auf kleinen, meist leicht erreichbaren Sägewerken geschnitten werden, den auf sie entfallenden Bargeldbeitrag stark vermindern.

**Diserens:** In der Schweiz wurde die Holzkastendränung in den letzten Jahren namentlich bei der Entwässerung von Alpen<sup>1)</sup> angewendet. Sie hat sich gut gehalten, sofern dicke Bretter verwendet wurden. Man darf an Holz nicht sparen und muß die Bretter so stark wählen, daß die Holzkästen nicht zusammengedrückt werden können. Die Kosten sind nicht höher als bei anderen Dränleitungen, namentlich nicht als bei Zementrohren, denn in den Moorböden muß man die Rohre mit Holz unterlegen.

**Freckmann:** Die eisernen Nägel haben sich, wie vorausszusehen war, nicht bewährt. Wir sind daher seinerzeit sehr bald dazu übergegangen, Hartholznägel zu verwenden. Dadurch können die Kästen haltbar gemacht werden. Versuche, die mit Holzkastendränen von dreieckigem Querschnitt gemacht wurden, haben nicht so befriedigt, so daß dem quadratischen Querschnitt der Vorzug zu geben ist.

**Rinne:** In Estland werden Moordrängen oft mit gefrästen Holzrohren ausgeführt. In Tooma, der Moorversuchsstation des Estländischen Moorvereins, kommen zu diesem Zweck 2—3 m lange

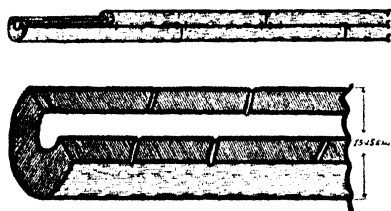


Abb. 3.

Kiefernklötze von 13—15 cm Durchmesser zur Anwendung. Diese Klötze werden der Länge nach zersägt und mittelst Fräsen ausgehöhlt, wodurch beim Aufeinanderpassen der ausgehöhlten Hälften Holzrohre entstehen. Diese Hälften werden der Länge des Dräns entsprechend zu einem einzigen ununterbrochenen Rohre

zusammengenagelt, welches dann in den Dränggraben verlegt wird. Die einzelnen oberen und unteren Rohrhälften sind so aneinander gepaßt, daß die Enden nur beim Beginn und bei der Ausmündung des Dräns übereinander liegen (Abb. 3).

**Lundblad:** In Schweden werden Holzdränrohre nach einem im Jahr 1921 von *G. Ericsson* erfundenen Verfahren hergestellt. Zu den Rohren wird gewöhnliches, nicht entrindetes Fichten- oder Kiefernholz verwendet. Für die gebräuchlichen Dränrohre von 5 cm innerem Durchmesser genügen Stämme mit 10 cm Spitzendurchmesser. Da beliebige Längen benützt werden können, sind kleine Hölzer wie z. B. die Wipfelenden größerer Stämme oder ausgelichtete Bäume jüngerer Waldbestände verwendbar.

Das Rundholz wird mit einer gewöhnlichen Kreissäge der Länge nach auseinandergesägt und jede Hälfte mit einer Rundhobelmachine (Messersäge) ausgehöhlt, so daß ein Halbrohr entsteht. Sodann werden auf beiden Seiten des Halbrohres in bestimmten Zwischenräumen dünne Späne herausgeschnitten, so daß beim Zusammenfügen der beiden Hälften auf beiden Seiten des Rohrs in bestimmten Abständen Schlitz entstehen, durch die das Wasser in das Rohr eintreten kann. Nachdem die beiden Rohrhälften zusammengenagelt sind, wird das Rohr am dicken Ende mit einem konischen Bohrer etwas erweitert,

<sup>1)</sup> Siehe auch *E. Ramser*, Die Holzkastendrainage. Schweizerische Alpwirtschaftliche Monatsblätter 1937. (Fauser.)



während das dünne Rohrende von außen zugespitzt wird. Die verschiedenen Rohrlängen werden dann im Dräng Graben einfach ineinander gesteckt.

Die Kreissäge und die Messerwelle sind auf einem Kraftwagen montiert, dessen Motor zum Antrieb der Maschinen benützt wird. Durch die Verwendung dieser transportablen maschinellen Einrichtung vermeidet man kostspielige Transporte des Holzes.

#### 4. Sitzung der 6. Kommission.

Donnerstag, den 5. August 1937, 7 Uhr 30 Min.

Vorsitzender: *Hallakorpi*.

Verhandlungsleiter: *Fausser*.

38 Teilnehmer.

##### Verschiedenes. Sujets divers. - Miscellaneous.

Abhandlungen Nr. 55-63, Seite 417-486.

**J. L. Russell** as general reporter: *Scott Blair* (p. 417) considers the effect of soil structure on the mechanical properties of the soil, and shews how these properties may be used to characterise the structure. He determines the relation between the compressive force acting on a soil and its deformation. A tray containing the soil sample is driven slowly upwards at a constant rate against a heavy counterpoised cylinder suspended from a balance beam. The weight on the beam is automatically regulated so that the cylinder remains stationary as the tray rises, and therefore penetrates into the soil at a constant rate. The amount of penetration is automatically plotted against the square root of the load. Typical curves for a series of sands and soils are shewn, in which the deformation is measured on the horizontal axis, and the square root of the load on the vertical axis. The curves can be divided into three main types which are respectively linear, convex and concave to the deformation axis. The shape of the curve depends on whether the deformation is due chiefly to crumb rupture, or to alterations in the packing of the ultimate particles or crumbs without rupture. In the former case the curve tends to be convex and in the latter case concave. In the intermediate case where the crumbs are stable without being very hard, a more or less linear curve is obtained. The applicability of the method to land amelioration problems is shewn by a comparison of two curves, representing samples obtained from a well-drained and a badly-drained spot on the same field respectively. One of these curves is found to be a typical form for soils in need of drainage.

*Hénin* (p. 461) discusses the general principles underlying the various types of instrument which have been used to measure the resistance of the soil to penetration by probes, etc. The two chief factors which influence the results obtained for a given soil are: (1) the rate of penetration and (2) the shape and size of the probe. If the rate of penetration is kept sufficiently low its effect can be neglected in comparison with the static resistance. The author considers that

*Culpin's* figure of 0.6 cm/sec, as the maximum permissible rate, is too high in certain cases.

The relation between the applied force and the depth of penetration of the probe varies in different soil types according as the soil resistance is due mainly to cohesion, consistency, or adhesion to the probe. Two extreme types of depth/resistance curve can be obtained, represented in fig. 1 (p. 463) by the straight line O D and the curve O C D respectively. The first, in which the resistance increases linearly with depth, is characteristic of sands or dry powdery soils. The second, in which the resistance over most of its range is independent of the depth, was obtained on a wet structureless loam. For the purpose of characterising different soil types the author introduces a coefficient A, equal to  $S_1/S_a$ , where  $S_a$  is the area enclosed by the actual curve (O C D) with the lines O P and P D and  $S_1$  is the area of the triangle O P D. Hence, for a loose soil  $A = 1$ , whereas for a very compact one it is slightly greater than 0.5, the exact value depending on the shape of the probe. Homogeneous soils of intermediate compactness lie between these two values. The coefficient therefore gives a measure of the mechanical properties of the soil.

Values of A are calculated by the author for a number of different soils for which the necessary data have been published. It is found to decrease from 1.0 in sands to 0.52 in heavy soils, as expected.

*Janert* (p. 468) describes an apparatus for measuring, *in situ*, the permeability of the soil to air. It makes use of the principle that if air is blown through a tube containing two diaphragms with small apertures, placed in series, the ratio of the air pressures on either side of the first diaphragm is directly dependent on the relative dimensions of the apertures. Hence, if the size of the first aperture is known, that of the second can be calculated. In the author's apparatus the first diaphragm has a single carefully standardised hole in the middle and the second is the soil whose permeability is to be determined. The permeability of the soil is expressed numerically in terms of the equivalent single aperture which would produce the same pressure difference across the first diaphragm. The apparatus is calibrated for this purpose by a separate series of experiments. The actual values obtained in soils are remarkably low, varying in practically all cases between 0 and 0.5 per cent. of the total cross-section of the cylinder. This is ascribed to the fact that the effective diameter of an air channel is determined by its cross-section at the narrowest point, which may be many times smaller than the average value.

The author reproduces three series of results obtained in different soils over a period of eight months. The effects of superficial cultivations were found to be relatively small in a compact soils, but thorough cultivation resulted in a great increase in permeability. Climatic influences had little effect in compact soils, but were much more marked in looser ones.

*Donat* (p. 423) points out the importance of the size-distribution of the soil pores in determining moisture conditions, and describes

a method by which it can be derived from the capillary suction pressures of the soil at different moisture contents. The relation between moisture content and capillary suction pressure for 5 different soils is shown in fig. 3 (p. 427). Curves 1—5 represent respectively a sand, a clay loam, a silt, a silty loam, and a surface soil derived from loess. The characteristics of the various curves are discussed in relation to the structure and moisture conditions in the corresponding soils. Nos. 1 and 2 represent the extreme types consisting almost entirely of coarse and fine pores respectively; 3 and 4 are intermediate types. No. 5 is typical of a soil with a good crumb structure, since 20-30 per cent. of the total pore space consists of coarse pores which permit easy drainage and good aeration, while the remainder are sufficiently fine to hold a large reserve of moisture for the plant. The size-distribution of the pores is represented diagrammatically in fig. 3b (p. 427). The diameters assigned to the different groups of pores are those which would be possessed by circular pores having the same capillary suction pressure. The actual soil pores, owing to their irregular shape, may be expected to have a suction pressure approximately double that of circular pores with the same cross-sectional area.

The author shows how changes in soil structure can be followed by his method. Fig. 4 (p. 437) represents the porespace distribution in a heavy soil before and after exposure to winter frost (curves 1 and 2 respectively). The improvement in soil structure is shown by the increase in the coarser pores (groups IV and V) at the expense of the finest group. Fig. 5 (p. 438) shows the degradation of structure produced in a natural soil (curve 1) by saturating it with water for 14 days (curve 2), and by treating with sodium chloride solution and leaching (curve 3).

*Antipov-Karataev* (p. 474) gives a general account of the classification, genesis and reclamation of alkali soils. In Russia there are slightly over one million sq. km. of more or less alkaline soils, of which the true alkali soils comprise about one quarter.

The degree of solonetz development in any soil depends partly on the salinity (past and present) but chiefly on the ratio of exchangeable Na to Ca and Mg in the B horizon. The true solonetz only develops if the proportion of Na to total bases is greater than 20 or 30 per cent., according to the soil type. If the proportion lies between this figure and 3 or 5 per cent., partial solonetz characters develop to a greater or less degree. The evolution of the solonetz depends chiefly on the ground-water relations. If the ground-water is near the surface and fluctuates seasonally, a soda solonetz and eventually a solod are produced. If the ground-water is too deep to influence the profile the soluble salts are eventually washed out, and a normal steppe soil results. If the ground-water rises permanently the solonetz may be regraded into a solonchak.

In reclaiming solonetz soils the chief requirement is to replace exchangeable Na by Ca. Treatment with gypsum is particularly effective for this purpose, but calcium carbonate, deep ploughing, sowing with suitable grasses, or (in calcareous soils) addition of sulphur are all effective.

*Fluck* (p. 448) gives an account of the amelioration of the Magadino Plain in Switzerland. This is a wet low-lying valley running from Bellinzona to the Langensee, which formerly suffered from frequent flooding by the Tessin river.

The first stage in the amelioration, which has now been completed, consisted in the regulation of the river. This was effected by constructing a new channel for it, 13.5 km. long and 60 m. wide, reinforced by flood dykes 3—4 m. high. The cost of this part of the work was ten million francs.

The second stage, which is now in progress and should be finished in 1939 at a cost of 4,600,000 francs, consists in the improvement of the land itself by arterial drainage, road and bridge building, and the simplification of holdings. About half the cost is borne by the State, 35 per cent. by the Canton, and over 12 per cent. by the owners.

The third stage, which has not yet been begun, will be concerned with the intensification of cultivation and with land settlement. The amount of land which will be available for the latter purpose is very limited, since most of it is already in use. However, the establishment of a few additional holdings of 7 ha each is under consideration, at an estimated cost of 25,000 francs each.

*Düggeli* (p. 440) brings evidence to shew that the deterioration of concrete pipes in the soil is due chiefly to bacteria of the butyric and lactic acid-forming types. He finds that if unattacked pipe fragments are kept in a culture medium inoculated with a fragment which has already deteriorated, or with a pure culture of the bacteria, the sound fragments are themselves rapidly attacked, and may lose up to 10 per cent. of their weight in 180 days. The bacterial action also results in a general mechanical weakening of the concrete.

**E. W. Russell** stellt folgenden *Entschließungsantrag*:

«1. The structure of the soil is characterised by its porosity and by the distribution and arrangement of the crumbs of which it consists.

2. It should be possible to assess the structure of the soil at any given time by determining certain of its mechanical properties (crusting, deformation, resistance to penetration, etc.).

3. The stability of structure, i. e. the persistence of the characteristics mentioned above against the effects of rainfall, can be determined either by measurements of these magnitudes, or by the method of aggregate analysis.

4. The VIth Commission recommends the standardisation of these methods by tests on soils where structural properties are considered typical by experienced workers.

5. It is desirable that the determinations be made under defined conditions of soil moisture, type of cultivation used and the time of year. For sampling it is recommended that the soil be sampled by using the minimum amount of force on it.»

**Fauser:** Ich bedaure sehr, mich gegen die Diskussion dieses Entschließungsantrags in der 6. Kommission wenden zu müssen. Er behandelt ausschließlich Fragen, die in das Arbeitsgebiet der 1. Kom-

mission gehören. Die 6. Kommission ist daher zu seiner Beratung nicht zuständig.

**Hénin und Blanc** sind der gleichen Auffassung.

**Hissink:** Auch ich teile diese Auffassung und empfehle, den Entschließungsantrag nicht zu diskutieren, sondern ihn ohne Stellungnahme an die 1. Kommission weiterzuleiten.

**Fausser:** Hiernach stelle ich fest, daß wir uns darüber einig sind, den Antrag von Herrn Dr. E. W. Russell nicht zu diskutieren, sondern ihn ohne Stellungnahme an die zu seiner Behandlung zuständige 1. Kommission weiterzuleiten.

**Zollikofer:** Im Jahre 1922 wurde in Zürich eine Kommission zur Prüfung des Verhaltens von Zementröhren in Meliorationsböden gegründet. Organisator war Oberst Girsberger und Prof. Dr. Wiegner leitete sämtliche Arbeiten. Der Kommission gehörten verschiedene Herren der Zementröhrenindustrie, des Meliorationswesens und der Eidg. Materialprüfungsanstalt an. Der Schlußbericht dieser Kommission ist nun erschienen und ich habe den Auftrag, jedem der Herren ein Exemplar dieses Schlußberichtes zu überreichen.

**Fausser:** Ich spreche den Spendern dieses wertvollen Berichts unser aller herzlichsten Dank aus. Wir sind durch diese großzügige Gabe äußerst überrascht und erfreut. Wie ich erfahren habe, wurde an dem Bericht in letzter Zeit mit Hochdruck gearbeitet, um ihn noch bis zu unserer Tagung fertigzustellen. Daß dies gelungen ist, und daß uns die Abzüge noch auf unserer letzten Sitzung hier in Zürich frisch von der Druckerei übergeben werden konnten, erhöht den Wert der Gabe noch in ganz besonderem Maße.

Wünscht noch einer der Herren das Wort zur Tagesordnung?

**Baumann:** Herr Prof. Janert hat mich gebeten, von unseren Erfahrungen mit seinem Luftdurchlässigkeitsmesser zu berichten. Ich folge dieser Bitte um so lieber, als der Apparat mit einem sehr geringen Aufwand die Gelegenheit gibt, den Bodenzustand zahlenmäßig zu erfassen. Wir haben den Apparat nicht, wie es vielleicht zunächst naheliegend erscheint und wie es Herr Prof. Janert auch getan hat, dazu verwandt, die Luftdurchlässigkeit verschieden bearbeiteten und gelockerten Bodens zu untersuchen, sondern wir wollten vor allen Dingen sehen, ob die festschlammende Wirkung des Kunstregens zu erfassen wäre. Es handelt sich dabei um Reinwasserberegnung.

Dabei ergab sich in den beiden Jahren der Messung zunächst, daß eine Beregnung Anfang Mai den Boden undurchlässiger macht, und zwar ist diese Verschlammung, wenn man so sagen will, nachhaltig gewesen. Die Beregnung Ende Mai/Anfang Juni zeigte auf unserem Dahlemer Boden keine Erscheinungen oder Folgen in obigem Sinne. Die auf beregneten und unberegneten Parzellen erzielten Werte waren gleich oder sehr ähnlich.

Wie an einer Stelle der Ganglinien von Janert eine gesteigerte Undurchlässigkeit bei großer Austrocknung beobachtet werden konnte, fanden auch wir, daß bei Austrocknung des Bodens auffallend geringe Werte auftreten können, und dabei handelt es sich bei uns um einen lehmigen Sand mit wechselndem Untergrund. Auch anderweitig habe ich den Eindruck bekommen, daß oft dem Gefühl

widersprechende Werte auftreten, was natürlich kein Argument gegen den Apparat ist.

Deutlich ließ sich auch in zunehmender Bodentiefe eine Veränderung der Durchlässigkeit feststellen. Diese stand nicht in Beziehung zum Porenvolumen, sondern stieg unterhalb einer bestimmten Grenze trotz geringeren Porenvolumens wieder an, nachdem die Durchlässigkeit zunächst von oben nach unten abgenommen hatte.

Wenn man mit dem Apparat arbeitet, darf man sich nicht durch die innerhalb einer Parzelle auftretende Streuung der Werte stören lassen. Schon ein etwas tiefer geführter Schlag mit der Hacke, eine Pfützenspur kann den Wert erheblich ändern. Weil der Apparat so außerordentlich einfach arbeitet, ist es möglich, auf einer Parzelle 10—15 Einzeluntersuchungen zu machen. Wenn man so vorgeht und dabei der Beschaffenheit des Bodens größte Aufmerksamkeit zuwendet, wird man feststellen, daß der Apparat geeignet ist, den Bodenzustand zu charakterisieren.

## Schlußsitzung

Lausanne, Montag, den 9. August 1937, 9 Uhr.

Vorsitzender: *Fausser*.

38 Teilnehmer.

**Fausser:** Mesdames, Messieurs, J'ai l'honneur d'ouvrir la Session de Clôture de la Troisième Conférence de la Sixième Commission de l'Association Internationale de la Science du Sol. Je suis heureux de pouvoir saluer à cette session le Président de l'Association Internationale de la Science du Sol M. le Professeur Dr. *Schuchl* de Berlin et le Président de la Deuxième Commission de l'Association Internationale de la Science du Sol M. le Professeur Dr. *Hendrick* d'Aberdeen. Je suis ravi de pouvoir vous accueillir dans cette magnifique Salle du Sénat de l'Université illustre de Lausanne qui nous a été mis à disposition pour cette session.

Meine sehr verehrten Damen und Herren! Ich freue mich, feststellen zu können, daß die Verhandlungen unserer Tagung einen sehr anregenden Verlauf genommen und wertvolle Ergebnisse gezeitigt haben. Ich erlaube mir nun, Ihnen zunächst die *Entschließungen* vorzutragen, die zu den verschiedenen Verhandlungsgegenständen gefaßt worden sind. (Die auf Seite 580–590 abgedruckten Entschließungen werden in deutscher, französischer und englischer Sprache verlesen.)

Wünscht jemand das Wort zu diesen Entschließungen? — Es ist dies nicht der Fall. Ich stelle daher fest, daß die Entschließungen endgültig angenommen sind.

**Zunker:** Ich bitte, noch folgenden *Entschließungsantrag* einbringen zu dürfen:

«Die Erfahrungen auf den Tagungen der 6. Kommission in Prag, Groningen und jetzt in der Schweiz haben gezeigt, daß Exkursionen nach ausgeführten oder in Ausführung begriffenen boden- und wasserwirtschaftlichen Anlagen ganz wesentlich zur Förderung der wasserwirtschaftlichen Ziele der 6. Kommission beitragen.

Es wird deshalb zu erstreben sein, den Mitgliedern der 6. Kommission auch auf den Internationalen Bodenkundlichen Kongressen mindestens die gleichen wertvollen Ausbildungsmöglichkeiten durch dadurch geeignete Exkursionen wie auf den Tagungen der 6. Kommission zu verschaffen.

Das dürfte dadurch zu erreichen sein, daß im Rahmen der für alle Kommissionen vorgesehenen großen Reiseroute boden- und wasserwirtschaftliche Sonderexkursionen für die Mitglieder der 6. Kommission unter sachverständiger Führung eingeschaltet werden.



Diese Sonderexkursionen sind zweckmäßig in enger Zusammenarbeit des Organisationsausschusses mit der maßgebenden kulturtechnischen Dachorganisation des betreffenden Landes und dem Vorsitzenden der 6. Kommission festzulegen.»

Ich bin vom Deutschen Ausschuß für Kulturbauwesen als der kulturtechnischen Dachorganisation in Deutschland beauftragt worden, zu erklären, daß der Deutsche Ausschuß für Kulturbauwesen sich zur Vorbereitung und Durchführung der boden- und wasserwirtschaftlichen Exkursionen auf dem nächsten Internationalen Bodenkundlichen Kongreß in Deutschland gern zur Verfügung stellt.

**Schuchert:** Der Antrag findet durchaus meinen Beifall. Ich halte es jedoch nicht für erforderlich, eine besondere Entschlieöung zu fassen, weil der deutsche Vorbereitungsausschuß für den nächsten Internationalen Bodenkundlichen Kongreß sowieso vorgesehen hat, im Sinne des Antrags zu verfahren.

**Fausser:** Nach dieser Erklärung dürfte es nicht mehr notwendig sein, einen förmlichen Beschluß über den Antrag zu fassen.

**Zunker:** Die Erklärung, die Herr Professor *Schuchert* soeben abgegeben hat, genügt mir vollständig; es ist deshalb nicht nötig, daß mein Antrag zum Beschluß erhoben wird.

**Fausser:** Verehrte Anwesende! Der *Benennungsausschuß* der 6. Kommission hat in drei Sitzungen, die er während unserer Tagung abhielt, den Entwurf eines Wörterbuchs beraten und angenommen, das gegen 600 kulturtechnische Fachausdrücke in deutscher, englischer und französischer Sprache mit Deutsch als Grundsprache und über 120 Begriffserläuterungen enthält.

Die Arbeiten des Benennungsausschusses sollen nun derart fortgesetzt werden, daß die Begriffserläuterungen ins Englische und ins Französische übersetzt und dann die Wörter in der Buchstabenfolge dieser beiden Sprachen geordnet werden, so daß außer dem deutsch-englisch-französischen Teil des Wörterbuchs ein englisch-deutsch-französischer und ein französisch-deutsch-englischer Teil entsteht. Die Herren Dr. *E. W. Russell*, Rothamsted, und Prof. *Rolley*, Paris, hatten die Güte, sich zur Durchführung dieser Arbeiten zur Verfügung zu stellen.

Zu meinem großen Bedauern haben mir zwei Herren unseres Benennungsausschusses mitgeteilt, daß sie in Zukunft nicht mehr in ihm mitarbeiten können. Es sind dies die Herren Dr. *Scott Blair* und Dr. *J. L. Russell*. Herr Dr. *Scott Blair* ist zum Head of the Chemistry Department of the National Institute for Research in Dairying ernannt worden und Herr Dr. *J. L. Russell* wird in einen geistlichen Orden eintreten. Ich habe mich leider davon überzeugen müssen, daß die Rücktrittserklärungen der beiden Herren unwiderruflich sind. Es bleibt mir deshalb nur übrig, den beiden Herren den herzlichsten Dank der 6. Kommission für die ausgezeichneten Dienste auszusprechen, die sie dem Ausschuß durch ihre eifrige Mitarbeit erwiesen haben.

Der stellvertretende erste Vorsitzende und Generalsekretär der Internationalen Bodenkundlichen Gesellschaft, Herr Dr. *Hissink*, der leider verhindert ist, an der heutigen Sitzung teilzunehmen, hat

mich gebeten, Herrn Dr. *Scott Blair* auch in seinem Namen nochmals herzlich für das Viele zu danken, was er als Sekretär des Hauptbenennungsausschusses der Internationalen Bodenkundlichen Gesellschaft und als Vorsitzender des Benennungsausschusses der 1. Kommission geleistet hat. Ich komme dieser Bitte hiermit gerne nach.

Zum Nachfolger des Herrn Dr. *J. L. Russell* wurde vom Benennungsausschuß der 6. Kommission Herr Dr. *E. W. Russell* gewählt. Ferner wurde der Bennungsausschuß durch die Herren Prof. Dr. *Brüne*, Bremen, Prof. Dr. *Donat*, Wien, Kulturingenieur *Schwarz*, Lausanne, und Prof. Dr. *Zunker*, Breslau ergänzt.

Ein von Herrn Dr. *E. W. Russell* zum Punkt Verschiedenes eingebrachter Entschließungsantrag (s. S. 568) wurde von der Kommission zuständigkeitshalber an die 1. Kommission verwiesen.

Die *Unterkommission für die Begriffsbestimmung der Arten des unterirdischen Wassers* wurde durch die Zuwahl folgender 14 Herren erweitert: Prof. *Blanc*, Paris; Prof. Dr. *Brüne*, Bremen; Prof. *Diserens*, Zürich; Prof. Dr. *Donat*, Wien; Dr. *Ekström*, Stockholm; Lektor *A. Feilberg*, Kopenhagen; Prof. Dr. *Hallakorpi*, Helsinki; Dr. *Hooghoudt*, Groningen; M. *Laferrère*, Paris; Dr. *Lödesöl*, Oslo; Prof. Dr. *Rożański*, Kraków; Dr. *E. W. Russell*, Rothamsted; Prof. Dr. *Schweigl*, Tetschen; Prof. Dr. *Zavadil*, Brno.

Verehrte Anwesende! Herr Dr. *J. L. Russell* hat mir mitgeteilt, daß er infolge seines Eintritts in einen geistlichen Orden gezwungen sei, auch sein Amt als *Schriftführer der 6. Kommission* niederzulegen. Ich bedaure seinen Rücktritt aufs tiefste, denn Herr Dr. *Russell* war mir eine große Stütze und hat die zahlreichen und umfangreichen Übersetzungen ins Englische, die zur Vorbereitung dieser Tagung nötig gewesen sind, stets postwendend erledigt. Ich habe Herrn Dr. *J. L. Russell* bereits schriftlich meinen herzlichsten Dank für seine ausgezeichnete Unterstützung und stete Hilfsbereitschaft ausgesprochen, möchte aber nicht versäumen, dies auch hier an dieser Stelle zu tun.

Herr Dr. *J. L. Russell* hat auf meine Anfrage seinen Bruder, Herrn Dr. *E. W. Russell* zu seinem Nachfolger vorgeschlagen. Dieser hat sich bereit erklärt, das Amt im Falle seiner Wahl anzunehmen. Ich stelle den Antrag, Herrn Dr. *E. W. Russell* zum Schriftführer unserer Kommission zu wählen. Ist die Kommission mit diesem Antrag einverstanden? — Es erhebt sich kein Widerspruch. Ich stelle daher fest, daß Herr Dr. *E. W. Russell* zum Schriftführer der 6. Kommission gewählt ist.

Es hat sich ferner als sehr erwünscht erwiesen, daß die Kommission auch einen französischen Schriftführer besitzt. Herr Prof. *Blanc* hatte die Liebenswürdigkeit, mir in Aussicht zu stellen, nach seiner Rückkehr nach Paris einen zu diesem Amte geeigneten Herrn zu benennen.

Endlich habe ich noch die erfreuliche Mitteilung zu machen, daß die Sowjetsektion der 6. Kommission zu unserer Tagung ein Sonderheft der russischen Zeitschrift *The Pedology* hat erscheinen lassen. Herr Prof. Dr. *Jarilov* hat mitgeteilt, daß er 25 Stück dieses Sonderheftes an die 6. Kommission habe abgehen lassen. Leider ist die Sendung noch nicht angekommen. Ich ergreife die Gelegenheit,

der Sowjetsektion auch an dieser Stelle den wärmsten Dank für das Sonderheft auszusprechen.

Meine sehr verehrten Damen und Herren! Es bleibt mir noch die angenehme Aufgabe, allen denjenigen den herzlichsten Dank der 6. Kommission auszusprechen, die zum Gelingen unserer Tagung beigetragen haben.

In erster Linie gilt unser Dank den Herren, die für die Tagung Abhandlungen eingesandt haben, ferner den Herren Hauptberichterstattern, nämlich den Herren Prof. A. *Blanc*, Paris; Prof. Dr. *Brüne*, Bremen; Ministerialrat Dr. *Ramsauer*, Wien; Privatdozent Dr. *Schildknecht*, Hergiswil; Dr. J. L. *Russell*, Oxford und Prof. Dr. *Zavadil*, Brünn, für die große Mühe, die sie mit der Ausarbeitung der Hauptberichte und der Entschließungsanträge gehabt haben, sowie all den Herren, die durch ihre Teilnahme an der Diskussion unsere Verhandlungen so anregend gestaltet haben.

Ferner habe ich Herrn Prof. Dr. *Janert*, Herrn *Métraux* und Herrn Dr. *Scott Blair* für die ausgezeichnete und selbstlose Unterstützung zu danken, die sie mir während der Tagung durch ihre Übersetzungsarbeit gewährt haben.

Dem schweizerischen Vorbereitungsausschuß mit Herrn Prof. *Diserens* an der Spitze, dem Schweizerischen Kulturingenieurverein mit seinem Präsidenten, Herrn *Ramser*, sowie allen übrigen Persönlichkeiten und Stellen, die sich um die ausgezeichnete Vorbereitung und die glänzende Durchführung der Tagung und der Exkursionen verdient gemacht haben, habe ich schon in Luins (s. S. 601) den herzlichsten Dank der 6. Kommission ausgesprochen. Hier möchte ich noch folgendes ergänzend hinzufügen. Wir konnten auf den wissenschaftlich sehr anregenden und landschaftlich wundervollen Exkursionen wirkliche Meisterwerke der schweizerischen Kulturtechnik bewundern und haben uns davon überzeugt, daß man es in der Schweiz versteht, die öffentlichen Mittel am rechten Ort einzusetzen, nämlich zu einer planvollen Vergrößerung der landwirtschaftlich genutzten Fläche und damit zur Verbesserung der Ernährungsgrundlage des Schweizer Volkes.

**Schucht:** Meine Damen und Herren! Die Tagung der 6. Kommission der I. B. G., die man auch schon einen Kongreß nennen könnte, geht heute zu Ende. Der Präsident dieser Kommission, Herr Oberbaurat *Fauser*, hat vorgestern unter der alten Linde im Schloß- und Gutshof von Luins allen amtlichen und privaten Stellen und allen Herren, die an der Gestaltung unserer Tagung beteiligt waren, seinen und unser aller Dank ausgesprochen, einen Dank, der nicht eine formelle Geste bedeutete, sondern aus aufrichtigem Herzen kam.

Diesem Danke möchte auch ich heute an dieser Stelle nochmals Ausdruck geben und sagen, daß diese ganze Tagung meisterhaft aufgezogen und durchgeführt war und unserer Wissenschaft in Verhandlungen und Vorträgen viel neues Wissen und viele Anregungen zuführte. Unsere Tagung hatte das Glück, von schönstem Wetter begünstigt zu sein, so daß die wissenschaftlichen Exkursionen sich voll auswirken konnten, und wir alle darüber hinaus die Naturschönheiten der Schweiz in schönster Form in uns aufnehmen konnten.

Das Vorbereitungskomitee unter seinem Präsidenten Prof. *Diserens*, wie überhaupt alle Schweizer Kollegen, haben ihr Bestes getan, uns einen Einblick in den hohen Staaß der kulturtechnischen Arbeiten ihres Landes gewinnen zu lassen, so daß, wenn wir heute zurückblicken, wir diese Tagung in jeder Beziehung als wohl gelungen bezeichnen können, als eine Tagung, die sich würdig in den Rahmen unserer I. B. G. eingliedert. Für alle hier geleistete Arbeit auch dem Präsidenten der 6. Kommission, Herrn Oberbaurat *Fauser*, und dem Vizepräsidenten unserer Gesellschaft, Herrn Direktor Dr. *Hissink*, für seine organisatorische Mitwirkung zu danken, ist mir gern erfüllte Pflicht.

Meine Damen und Herren! Lassen Sie mich nun noch einige Worte über die wissenschaftliche Zusammenarbeit der Völker im allgemeinen und die der Bodenkundler im besonderen sagen.

Es ist doch etwas Großes und eine uns geheiligte Tradition, daß Männer gleichen Berufes aus aller Herren Ländern der ganzen Welt, sich zu gemeinsamer Arbeit zusammenfinden und dabei alles beiseite schieben, was in politischen und konfessionellen Fragen die Geister scheidet. Das hohe gemeinsame Ziel ist für alle, objektive wissenschaftliche Forschung zu leisten, unbeschadet der verschiedenen Zielen nachgehenden praktischen Anwendung der Forschungsergebnisse. Die reine Forschung geht in allen Ländern den gleichen Weg. Denn es gibt nur *eine* Wahrheit, die es zu erforschen gibt, und hier liegt das Kampffeld der Wissenschaft, auf dem es die Klagen zu kreuzen und Lorbeeren zu erringen gibt. Und in diesem Kampfe wollen wir alle ritterliche Kämpfer sein und einer den andern achten lernen.

Ist so die Bodenkunde, wie Chemie und Physik, eine naturwissenschaftliche Disziplin, deren Problemen wir nachgehen, so stellt sie als *angewandte* Wissenschaft nicht minder hohe Aufgaben an uns. Gilt unsere Arbeit doch dem hohen Ziel, die Völker unserer Erde die beste Nutzung ihrer Böden kennen zu lehren. Da der Boden der Schöpfer allen Lebens auf der Erde ist, können wir unsere Wissenschaft als die vornehmste aller bezeichnen. So ist es eine große und schöne Aufgabe, die uns Bodenkundlern gestellt ist: kulturelle Werte für die Menschheit zu schaffen.

Am 1. August, dem Nationalfeiertage der Schweiz, den wir in Zürich miterleben durften, las ich in einer Zeitung das Leitwort des Genfer Roten Kreuzes «inter arma caritas». Dieses Leitwort wollen wir auch auf unsere Tagung übertragen in dem Sinne, daß auch in Zeiten politischer Hochspannung zwischen den Völkern der Erde die wissenschaftlichen Tagungen uns Stätten menschlichen Verstehens und gemeinsamer wissenschaftlicher Arbeit bedeuten sollen. Sorgen wir dafür, daß unsere I. B. G. Hüterin dieser Ideen bleiben möge, eine «Familie», wie *Hissink* sagte, die in Treue zusammenhält.

Die Tagung der 6. Kommission ist zu Ende. Mögen ihre Arbeiten reiche Früchte tragen. Auf dem IV. Internationalen Kongreß 1940 in Deutschland werden die Ergebnisse dieser Tagung den Resonanzboden für weitere Verhandlungen und Beschlußfassungen bilden. Die kulturtechnische Bodenkunde wird hier mit anderen Wissensgebieten

der Bodenkunde in Berührung treten, denn es entspricht ja dem Sinne des Kongresses, die getrennten Marschlinien wieder auf ein gemeinsames Kampffeld zu führen.

Ich gebe der Hoffnung Ausdruck, daß Sie alle, meine Damen und Herren, und dazu noch viele andere Kollegen an dem Kongreß 1940 teilnehmen werden. Wir wollen in Deutschland versuchen, es den Schweizern nachzutun, nicht nur in der gründlichen Vorbereitung und Gestaltung des Kongresses, sondern auch in der Herzlichkeit des Gastgebers, wie sie uns hier in so reichem Maße zuteil wurde.

**Blanc:** Mesdames, Monsieur le Président de l'Association Internationale de la Science du Sol, Monsieur le Président de la 6<sup>e</sup> Commission, Mes chers Collègues, Avant que le rideau ne se baisse définitivement sur le dernier acte de notre Congrès, je tiens à exprimer, au nom de toutes les délégations réunies, nos sentiments de reconnaissance à l'égard de tous ceux qui ont prévu, organisé et dirigé les différentes manifestations auxquelles il nous a été donné d'assister.

A Zurich, dans l'amphithéâtre de cette magnifique Ecole Polytechnique fédérale où se sont illustrés d'éminents techniciens suisses, nos délibérations ont pris l'ampleur qui convenait à l'importance des sujets traitées, nos discussions, toujours de haute tenue scientifique, nous ont permis d'aboutir à de sages et utiles résolutions.

Des excursions qui se sont déroulées dans un cadre enchanteur et sous un ciel particulièrement favorable, nous ont fait apprécier les heureuses applications pratiques que nos hôtes avaient su judicieusement tirer de données scientifiques.

Nous avons d'ailleurs fort bien discerné, au cours de notre magnifique randonnée, l'idée maîtresse qui a guidé les organisateurs et présidé à la conception du plan d'ensemble:

Montrer la liaison intime qui doit constamment exister entre la théorie et la pratique, la première s'appuyant sur la seconde pour étayer son argumentation, la seconde contrôlant rigoureusement les conclusions de la première.

C'est dans cet esprit qu'ont été conçues et réalisées les améliorations foncières dont nous avons constaté les heureux effets, près des rives du Rhin comme sur les bords du Rhône, sur les pentes des Alpes comme sur le «Gros de Vaud», dans le vignoble du Valais comme dans celui, très particulier, de la «Côte Vaudoise» qui en se mirant dans les eaux bleues du lac sait utiliser doublement l'énergie solaire.

Nous avons véritablement assisté à ce miracle naturel de la transformation de l'eau en vin, miracle qui d'ailleurs pose plus d'un mystérieux problème.

Dans le Valais, par exemple, après avoir admiré les bisses audacieux captant à de grandes altitudes, et transportant jalousement par dessus les précipices, les eaux des glaciers, nous dégustions en bas, dans la vallée, et quelques heures plus tard, un vin généreux et fortement constitué, c'était, pourrions-nous dire, avec notre déformation professionnelle, un vin d'infiltration.

Avant-hier, à Luins le vignoble Vaudois peigné et ratissé comme un jardin nous donnait à profusion, à une faible hauteur au-dessus

du lac, un vin subtil et délicieusement fruité qui semblait être, lui, bien plutôt un vin capillaire.

Les deux d'ailleurs ont été très vivement appréciés.

Mais à côté de ces satisfactions successives de divers ordres : technique, touristique et gastronomique, ce Congrès nous en a donné une plus profonde encore d'ordre social :

Nos délibérations, nos excursions, se sont poursuivies dans une atmosphère de courtoisie, d'aménité et de cordialité qu'il nous paraît indispensable de souligner.

Chacun a eu, semble-t-il, la coquetterie de montrer qu'il était possible à une assemblée internationale de techniciens de vivre en bonne intelligence sous le signe de la plus cordiale compréhension mutuelle.

Et par suite, au moment où notre équipe va se disloquer, nous nous demandons logiquement pourquoi ce qui est possible à une élite internationale ne le serait pas pour les peuples que cette élite représente.

Par tout ce que nous avons constaté et ensemble senti au cours de ces huit derniers jours, nous croyons fermement que l'on *peut* et que l'on *doit* donner à cette question une réponse favorable. A ce point de vue, la réunion de la 6<sup>e</sup> Commission en mettant en évidence ces possibilités d'entente aura fait œuvre utile pour le rapprochement des peuples.

De tous ces résultats particulièrement heureux, nous sommes redevables à nos dirigeants, à nos hôtes, aux organisateurs du Congrès.

Sans vouloir faire ici une sorte de palmarès, laissez-moi au moins citer Messieurs les professeurs *Schucht, Hissink, Fauser, Diserens*, les autorités fédérales et les Ingénieurs du Service Suisse des Améliorations foncières, en particulier, MM. *Strüby, Keller, Müller, Schwarz, Ramser, Strebel, Petitpierre* et *Métraux*.

A tous va notre plus profonde gratitude, et pour la leur exprimer d'une façon plus saisissante, j'aurais voulu, durant cette dernière semaine, pouvoir recueillir heure par heure nos paroles d'approbation et nos cris d'enthousiasme et leur faire hommage, aujourd'hui, de cette gerbe de reconnaissance internationale.

Mais ce ne sont là, hélas, que fleurs de rhétorique.

Aussi, pour extérioriser nos sentiments, je vous demande, Mesdames et Messieurs, d'acclamer avant de nous séparer ceux qui, à quelque titre que ce soit, ont contribué à la conception et à l'organisation de cette réunion et ont assuré son plein succès.

**Ramser:** Herr Vorsitzender, Meine Damen und Herren! Zum Abschluß Ihres Kongresses möchte ich Ihnen herzlich danken für die unserem Land erwiesene Ehre und für das dem Schweizerischen Kultur-Ingenieurverein erzeigte große Vertrauen. Es erfüllt uns mit Freude und Genugtuung, zum guten Gelingen etwas beigetragen zu haben. Uns schweizerischen Teilnehmern wird diese Veranstaltung in steter dankbarer Erinnerung bleiben, haben wir doch davon die wertvollsten Anregungen empfangen.

Möchten auch Sie nur angenehme Eindrücke mit nach Hause nehmen.

Zum Abschied entbiete ich Ihnen herzlichen Schweizergruß und verbinde damit den aufrichtigen Wunsch für die Wohlfahrt Ihrer Heimatländer und Völker.

**Fausser:** Die Rednerliste ist erschöpft. Es bleibt mir daher nur noch übrig, mit dem wärmsten Dank für die Ausführungen meiner Herren Vorredner die 3. Tagung der 6. Kommission der Internationalen Bodenkundlichen Gesellschaft zu schließen.

**ENTSCHLIESSUNGEN**

**RÉSOLUTIONS — RESOLUTIONS**



# EntschlieBungen

## I. Boden und Wasser.

1. In allen aufgeworfenen Fragen ist sowohl unmittelbar als auch mittelbar noch so viel zu klären, daß man nicht vorschlagen kann, sich ganz neuen Problemen zuzuwenden.

2. Besondere Aufmerksamkeit ist der Dürre und im Rahmen dieses Problems dem Einfluß der Bodenbearbeitung auf die Verhältnisse des Bodenwassers sowie der einfachen Bestimmung des Welkekoeffizienten zu widmen. Auch sollte man allgemein auf breiterer Grundlage den Einfluß des Waldes auf die ganze Wasserwirtschaft einer Gegend wissenschaftlich behandeln.

3. Die Kommission nimmt Kenntnis von den Vorschlägen der Unterkommission für die Begriffsbestimmung der Arten des unterirdischen Wassers. Sie erachtet diese Vorschläge zusammen mit denjenigen von Herrn *Blanc* als eine geeignete Grundlage für den Ausbau eines Wörterbuches über bodenkundliche Begriffe.

Sie beauftragt die erweiterte Unterkommission, die Formulierung der Begriffsbestimmungen über das unterirdische Wasser und die Übersetzung in die Hauptsprachen so zu fördern, daß die endgültige Fassung auf dem nächsten internationalen bodenkundlichen Kongreß der 1. und 6. Kommission vorgelegt werden kann.

## II. Dränungsversuchswesen.

1. Um die internationale Auswertbarkeit der Ergebnisse der Dränversuchsanlagen zu gewährleisten, wird den Mitgliedern der Internationalen Bodenkundlichen Gesellschaft empfohlen:

a) Die Einhaltung der in den Jahren 1929 und 1930 angenommenen Richtlinien für die internationale Ausgestaltung des Dränungsversuchswesens in ihrem Wirkungskreis nachdrücklichst zu vertreten, insbesondere

b) eine genaue Bodenaufnahme der ganzen Versuchsfläche vornehmen zu lassen und

c) genau festzulegen, ob der Wasserhaushalt der Versuchsflächen lediglich vom Niederschlag oder auch von unterirdischen Fremdwasserzuflüssen abhängt. Im letzteren Falle darf die Abflußzahl nicht auf die zugehörige gedränzte Versuchsfläche umgerechnet werden.

d) Zur richtigen Ermittlung des Wasserhaushaltes von Versuchsdränungen ist die Gleichung

$$\text{Niederschlag (N)} - \left[ \text{Abfluß (A)} + \text{Speicherung (S)} \right. \\ \left. + \text{Pflanzenverbrauch (V}_1\text{)} + \text{Verdunstung (V}_2\text{)} \right] = 0$$

als Grundlage zu nehmen.

Neben den Messungen von N, A, S muß daher auch die Verdunstung und der Pflanzenverbrauch durch Lysimeter ohne und mit Vegetation genau verfolgt werden. Des weiteren wird die Aufstellung von geeigneten Verdunstungsmessern und -schreibern empfohlen.

2. Um die Vergleichbarkeit der Grundwasserbeobachtungen zu gewährleisten, ist ein einheitlicher Typ von Beobachtungsrohren einzuführen. Über die zweckmäßigste Art dieser Beobachtungsrohre sollen noch Untersuchungen angestellt werden.

3. Um die Schwierigkeiten zu umgehen, die sich der Ausführung von Dränversuchen wegen der starken Veränderlichkeit der Bodenbeschaffenheit entgegenstellen, sollte man sich bei wissenschaftlichen Versuchen über die Dränungswirkung vorerst auf kleinere Flächen beschränken.

Die dadurch erzielten Einsparungen an Anlagekosten sollten für eine möglichst vollkommene meßtechnische Ausstattung verwendet werden, wobei tunlichst die Verwendung selbstschreibender Meßgeräte anzustreben wäre.

### **III. Feldberegnung, Abwasserverwertung.**

1. Da die kulturtechnische Abwasserverwertung eine starke und mannigfaltige Beeinflussung des Bodenprofils zur Folge hat, ist vor der Planung, sowie auch beim Betrieb von Abwasserbewässerungsanlagen die Vornahme eingehender Bodenuntersuchungen von grundlegender Wichtigkeit für den landwirtschaftlichen Erfolg.

2. Die moderne kulturtechnische Abwasserverwertung verlangt eine weiträumige Verteilung des Abwassers und damit eine mäßige Belastung des Bodenprofils. Die Abwasserverteilung erfolgt zweckmäßig hauptsächlich durch Feldberegnung und Furchenrieselung.

3. Neben der Abwasserverwertung durch Verregnung spielt die Reinwasserverregnung für viele Verhältnisse in den einzelnen Ländern eine große Rolle. Der weiteren Erforschung aller mit ihr zusammenhängenden Fragen ist unter den verschiedensten Boden- und Klimaverhältnissen mit Rücksicht auf die durch die Beregnung mögliche Steigerung und Sicherung der Erträge eine besondere Beachtung zu schenken.

### **IV. Unterirdische Bewässerung.**

Die Kommission nimmt Kenntnis von den Ergebnissen, die in Frankreich und Deutschland mit folgenden Verfahren der unterirdischen Bewässerung erzielt worden sind:

a) der ununterbrochenen unterirdischen Bewässerung mittels handverlegter Rohre (Verfahren von Avignon);

b) der ununterbrochenen unterirdischen Bewässerung mittels Rohren, die mit dem Rohrflug «Tubator» hergestellt wurden;

c) der unterbrochenen unterirdischen Bewässerung mittels gewöhnlicher Dränrohre (Verfahren von Cavaillon).

Sie ist der Ansicht, daß das im Einzelfall günstigste Verfahren auf Grund der örtlichen wirtschaftlichen Verhältnisse zu bestimmen ist.

Sie empfiehlt, Untersuchungen darüber anzustellen, wie sich die technische Anordnung einer unterirdischen Bewässerungsanlage aus den hydrodynamischen Eigenschaften des zu bewässernden Bodens ermitteln läßt.

#### **V. Einwirkung der kulturtechnischen Maßnahmen auf die Bewegung der Salze im Boden.**

Da in ariden Böden durch Überbewässerung schädliche Salzanreicherungen im Bodenprofil entstehen können, sind bei der Zuleitung und besonders bei der Verteilung des Bewässerungswassers die Wasserverluste möglichst einzuschränken.

#### **VI. Einteilung der Moorböden.**

1. Die Kommission schlägt vor, an der besonders in praktischer Hinsicht in Mitteleuropa seit langem aufs beste bewährten und allgemein eingeführten Einteilung der Moore in die drei großen Gruppen der Hoch-, Niederungs- und Übergangsmoore festzuhalten und unbeschadet weiterer Kennzeichnung (z. B. in botanischer Hinsicht) die einzelnen Gruppen wie folgt zu charakterisieren:

*Hochmoore* sind nährstoffarme (oligotrophe), in der Regel niederschlagsbedingte<sup>1)</sup> (ombrogene) Überwassermoore (supraaquatische Moore);

*Niederungsmoore* sind nährstoffreiche (eutrophe), geländebedingte (topogene), z. B. durch Verlanden von Seen oder Flußläufen oder durch Quellen entstandene Unterwassermoore (infraaquatische Moore);

*Übergangsmoore* sind gelände- bis niederschlagsbedingte<sup>1)</sup> (topobis ombrogene) Moorbildungen von mittlerem Nährstoffgehalt (mesotrophe Moorbildungen), die ihrer chemischen Zusammensetzung nach bald mehr den Hochmooren, bald mehr den Niederungsmooren zuzurechnen sind.

2. Als Mindeststärke der Torfschicht, die ein Gelände als Moor kennzeichnet, werden im entwässerten Zustande - ohne Einschluß der Pflanzendecke - 20 cm Torf angesehen. Bei unentwässerten Mooren sollen mindestens 30 cm Torf vorhanden sein.

#### **VII. Entwässerung und Sackung der Moorböden.**

Für die Entwässerung der Moorböden zu landwirtschaftlichen Zwecken werden sich zwar schon aus dem Grunde keine allgemein gültigen Normen aufstellen lassen, weil den Entwässerungserfolg maßgebend beeinflussende Faktoren, wie botanische Zusammensetzung und Zersetzungsgrad der Torfe, Tiefe der Moore und vor allem die Niederschlagshöhe, in den verschiedenen Moorengebieten und Ländern zu große Verschiedenheiten aufweisen. Wichtig und von allge-

<sup>1)</sup> Hochmoore und Übergangsmoore können auch in soligene Moore übergehen, die außer unmittelbaren Niederschlägen noch vom umgebenden hängigen Gelände Wasser erhalten.

meiner Bedeutung ist aber die Fortführung genauer Untersuchungen der *Sackungserscheinungen*, die namentlich auf tiefgründigen, wenig oder gar nicht vorentwässerten Mooren nach der Urbarmachung eintreten und für deren Vorausberechnung bisher noch jeder einigermaßen zuverlässige Maßstab fehlt.

### **VIII. Kalkung und Düngung der Moorböden.**

Auf dem Gebiete der Kalkung und Düngung der verschiedenen Moorböden liegt zwar schon umfangreiches und wertvolles Material vor. Trotzdem hat die Forschung gerade auf diesem Gebiete noch wichtige Aufgaben zu lösen. Im Vordergrund der Untersuchungen sollten vor allem folgende Fragen stehen:

1. Das Kalkbedürfnis und die Düngung der verschiedenen Moor- bzw. Torfarten bei Acker- und Grünlandnutzung.

2. Auf welchen Ursachen beruhen die vielfach auf älteren Niedermoorwiesen beobachteten Ertragsrückgänge, und mit welchen Mitteln können sie wirksam verhindert werden?

3. Außerdem ist es wichtig, die Frage der Zusatzdüngung (Kupfer, Bor, Mangan usw.) und ihrer Wirkung auf den Boden und den Pflanzenertrag unter den verschiedensten Verhältnissen noch weiter zu klären.

## Résolutions

### I. Le sol et l'eau.

1<sup>o</sup> Dans toutes les questions traitées, il reste encore tant de points à éclaircir aussi bien directement que par voie indirecte qu'on ne peut proposer l'étude de nouveaux problèmes.

2<sup>o</sup> Il faut concentrer les recherches sur la sécheresse et l'influence des façons culturales sur la teneur en eau du sol ainsi que sur la détermination simple et pratique du coefficient de flétrissement. De même il faut étudier scientifiquement et sur une base plus étendue, l'influence de la forêt sur le régime des eaux d'une contrée.

3<sup>o</sup> La Sixième Commission prend note des propositions de la Sous-Commission pour les définitions des différentes sortes d'eaux souterraines. Elle considère ces propositions jointes à celles de M. *Blanc* comme base appropriée pour l'élaboration d'un dictionnaire de mots techniques concernant les termes de la science du sol.

Elle demande au comité élargi de formuler les définitions concernant l'eau souterraine, de les traduire dans les langues principales et d'effectuer ce travail de telle façon que les termes définitifs puissent être présentés au prochain Congrès International de la Science du Sol à la Première et à la Sixième Commission.

### II. Recherches sur le drainage.

1<sup>o</sup> Afin de permettre l'utilisation, sur le plan international, des résultats donnés par les recherches sur le drainage, il est recommandé aux membres de l'Association Internationale de la Science du Sol:

a) d'observer strictement les règles adoptées en 1929 et 1930 sur l'organisation des recherches sur le drainage et en particulier

b) de faire effectuer un levé pédologique exact de toute la surface intéressée,

c) de déterminer avec précision si l'eau du sol étudié provient uniquement des précipitations ou aussi des nappes souterraines. Dans ce dernier cas le débit à évacuer ne peut être calculé en se basant uniquement sur la surface drainée.

d) Pour établir correctement le bilan hydrologique des champs d'essais de drainage, il convient de prendre pour base la relation:

$$\text{Précipitations (N)} - \left[ \text{ruissellement (A)} + \text{réserves du sol (S)} \right. \\ \left. + \text{utilisation par les plantes (V}_1\text{)} + \text{évaporation (V}_2\text{)} \right] = 0.$$

A côté des mesures de N, A, S, il est nécessaire de déterminer également l'évaporation et l'utilisation par les plantes à l'aide de cases lysimétriques avec ou sans végétation. En outre, on recom-

mande l'emploi d'évaporomètres appropriés et si possible enregistreurs.

2<sup>o</sup> Afin de rendre comparables les observations faites sur la nappe souterraine, il y a lieu d'utiliser un type unique de piézomètre. Il faut faire des recherches sur la disposition la plus convenable de ces piézomètres.

3<sup>o</sup> Les recherches de drainage sont rendues difficiles à cause de l'hétérogénéité du terrain. Pour des recherches scientifiques concernant l'effet du drainage, il conviendrait de se borner à de petites surfaces.

L'économie ainsi réalisée en frais d'installation doit être consacrée aux instruments de mesure les plus perfectionnés, spécialement d'appareils enregistreurs.

### **III. L'irrigation par aspersion. L'utilisation des eaux usées.**

1<sup>o</sup> L'utilisation agricole des eaux usées ayant une influence considérable et des effets variés sur le profil du sol, il est d'importance fondamentale pour le succès agronomique de l'opération d'effectuer l'étude des sols aussi bien avant l'exécution de l'installation qu'en cours d'exploitation.

2<sup>o</sup> L'utilisation agricole des eaux usées d'après les principes modernes demande une large répartition de l'eau d'où une charge modérée sur le sol. Cette répartition doit se faire de préférence par aspersion ou par infiltration à la raie.

3<sup>o</sup> A côté de l'irrigation par aspersion au moyen d'eaux usées, l'irrigation au moyen d'eau pure joue un grand rôle dans différents pays et dans différentes conditions. L'étude de toutes questions s'y rapportant, dans les différents terrains et climats, en considérant l'augmentation du rendement et l'augmentation de sécurité dans l'exploitation, méritent des recherches approfondies.

### **IV. L'irrigation souterraine.**

La Sixième Commission prend acte des résultats obtenus tant en Allemagne qu'en France par l'irrigation souterraine, soit qu'il s'agisse d'irrigation continue par tuyaux posés à la main (système d'Avignon) ou par tuyaux posés à la machine (Tubator), soit qu'il s'agisse d'irrigation discontinue par tuyaux de drainage (système de Cavaillon);

estime que dans chaque cas particulier les conditions économiques locales permettront de déterminer la méthode la plus avantageuse;

émet le vœu que des études soient entreprises qui permettent de déterminer les caractéristiques techniques d'une irrigation souterraine en fonction des caractéristiques hydrodynamiques du sol à irriguer.

### **V. L'influence des travaux d'amélioration du sol sur le mouvement des sels dans le sol.**

Dans les sols arides, l'irrigation trop forte produit dans le profil du sol des accumulations de sels nuisibles. C'est pourquoi il faut

limiter la perte d'eau à la transmission et surtout à la distribution des eaux d'irrigation.

## VI. Classification des sols tourbeux.

1<sup>o</sup> La Commission propose de maintenir la classification des sols tourbeux en trois grands groupes: tourbières hautes, tourbières basses et tourbières de transition, cette classification étant depuis longtemps confirmée par la pratique et adoptée partout en Europe Centrale. Sauf désignation spéciale (par exemple au point de vue botanique), les différents groupes seraient caractérisés comme suit:

*Les tourbières hautes* sont des formations tourbeuses oligotrophes, ombrogènes, supraaquatiques<sup>1)</sup>.

*Les tourbières basses* sont eutrophes, topogènes (formées par exemple par l'atterrissement de lacs ou de fleuves ou par des sources), infraaquatiques.

*Les tourbières de transition* sont mésotrophes, topo- jusqu'à ombrogènes<sup>1)</sup> et d'après leur composition chimique à classer soit parmi les tourbières hautes, soit parmi les tourbières basses.

2<sup>o</sup> L'épaisseur minima de tourbe qui permet d'appeler une surface déterminée tourbière doit être de 20 centimètres, non compris l'épaisseur de la tourbe végétale. Dans les sols tourbeux assainis, l'épaisseur de la couche de tourbe doit être d'au moins 30 centimètres.

## VII. Assainissement et affaissement des sols tourbeux.

Il n'est pas possible d'établir des règles générales pour l'assainissement des sols tourbeux en vue de leur mise en valeur agricole parce que le succès de l'opération dépend de nombreux facteurs tels que la composition botanique et l'état de décomposition de la tourbe, la profondeur de la tourbière et surtout la hauteur des précipitations. Mais il est de première importance de poursuivre les recherches sur les *affaissements* qui se produisent surtout dans les tourbières profondes peu ou pas assainies d'avance, après leur mise en culture, et pour la détermination desquels les renseignements manquent jusqu'à présent.

## VIII. Le chaulage et la fumure des sols tourbeux.

Dans le domaine du chaulage et des fumures des divers sols tourbeux, il existe déjà de nombreux et précieux matériaux. Cependant les recherches dans ce domaine ont encore d'importants problèmes à résoudre. Au premier plan, il convient de mettre les questions suivantes:

1<sup>o</sup> Le besoin en chaux et en fumure des différentes sortes de tourbières utilisées soit comme terres de culture soit comme prairies permanentes.

<sup>1)</sup> Les tourbières hautes et les tourbières de transition peuvent tourner en tourbières soligènes, qui reçoivent de l'eau des précipitations atmosphériques et du terrain incliné environnant.

2<sup>o</sup> Quelles sont les causes des diminutions de récoltes souvent observées sur de vieilles prairies des fourbières basses et par quels moyens peut-on y remédier?

3<sup>o</sup> Il est en outre important d'éclaircir la question de l'addition complémentaire de cuivre, de bore, de manganèse, etc. et de leur effet sur le sol et sur le rendement des cultures, dans les conditions les plus différentes.



# Resolutions

## I. Soil and water.

1. There is still so much to be explained, bearing directly or indirectly on the various questions raised, that one cannot recommend any entirely new problems be undertaken at present.

2. Particular attention should be paid to problems relating to drought; e. g. (a) the influence of soil cultivation on the soil moisture relations, and (b) simple methods of determining the wilting coefficient.

The influence of forest on the water economy of a particular region should be investigated on a wider basis from a scientific stand-point.

3. The Sixth Commission notes the proposals of the Subcommittee for the determination of the various types of underground water. The Commission considers that these proposals, together with those of Mr. *Blanc*, form an appropriate basis for the production of a vocabulary of these terms as used in Soil Science. It invites the enlarged Subcommittee to formulate the exact definitions of the forms of underground water, to translate these into the principal languages, and to present the vocabulary to the First and Sixth Commissions at the next International Congress of Soil Science.

## II. Drainage research.

1. In order to ensure the international usefulness of the results of drainage investigations, the following recommendations are made to members of the International Society of Soil Science:

(a) The adoption of the principles laid down in 1929 and 1930 for the international development of drainage research is to be urged as widely as possible; in particular

(b) an accurate soil survey of the whole experimental area should be made, and

(c) a careful examination must be made of the source of all water present in the area to find out how far it is due to rainfall and how far to underground sources. In the latter case, the outflow figures must not be calculated from the area of the drainage field.

(d) The equation:

$$\text{Rainfall (N)} - \left[ \text{Outflow (A)} + \text{Soil Moisture (S)} \right. \\ \left. + \text{Transpiration (V}_1\text{)} + \text{Evaporation (V}_2\text{)} \right] = 0$$

is to be taken as basis in determining the water economy of experimental drainage systems.

In addition to measurements of N, A and S, the evaporation and transpiration must be accurately determined by lysimeters with

and without vegetation. Suitable evaporation recorders should also be set up.

2. To ensure that ground-water observations are comparable with each other, a uniform type of observation tube should be introduced. Research is required regarding the most suitable types of observation tube.

3. Experiments on the effect of drainage should at first be restricted to small plots to avoid the difficulties which arise in carrying out drainage experiments on markedly heterogeneous soils.

The experimental expenditure thus saved should be used for as complete an installation of measuring equipment as possible, especially of self-recording instruments.

### **III. Sprinkling irrigation. Sewage utilisation.**

1. Since the application of sewage to the soil has an important and complex influence on its profile, a thorough investigation of the soil, both before designing the system and after it is in use, is of fundamental importance for its agricultural success.

2. The modern technique of sewage utilisation requires a wide distribution of the sewage water, with a correspondingly moderate influence on the soil profile. The sewage water is most suitably applied by sprinkling or by furrow irrigation.

3. In some countries, sprinkling irrigation of pure, as distinct from sewage, water plays an important role for many purposes. In view of the great possibilities for both raising and assuring yields special attention should be paid to the further investigation of all allied questions under varying soil and climatic conditions.

### **IV. Subterranean irrigation.**

The Sixth Commission takes cognisance of the results obtained in Germany and France by the following methods of subterranean irrigation:

(a) Continuous irrigation through hand-laid pipes (Avignon system);

(b) Continuous irrigation through machine-laid pipes (Tubator);

(c) Discontinuous irrigation through drain tiles (Cavaillon system).

It considers that in each particular case the most advantageous method will be determined by the local economic conditions.

It recommends that research should be undertaken on the correlation between the technical characteristics of a subterranean irrigation system and the hydrodynamic properties of the soil to be irrigated.

### **V. Effect of land amelioration measures on the movement of salts in the soil.**

In arid soils overirrigation produces harmful salt accumulations in the soil profile. Therefore conveyance losses and especially distribution losses of irrigation water are to be restricted.

## VI. Classification of peat soils.

1. The Sixth Commission recommends that the classification of moors into the three main groups of Raised Moss, Fen and Transitional Peatland be maintained, for in Central Europe it has been found in practice to be the best and most generally accepted. The different types should be characterised as follows, without prejudice to any further classification, e. g. from the botanical point of view:

*Raised Mosses* are oligotrophic, ombrogenic<sup>1)</sup> and supra-aquatic formations;

*Fens* are eutrophic, topogenic, infra-aquatic formations;

*Transitional Peatlands* are mesotrophic, topo- or ombrogenic<sup>1)</sup> formations, which should be classified according to their chemical constitution, either as more similar to raised mosses or to fens.

2. For land to be designated as peatland, the depth of the peat layer, excluding the thickness of the plant layer, must be at least 20 cm on drained and 30 cm on undrained land.

## VII. Drainage and shrinking of peat soils.

No universally applicable norms can be laid down for the drainage of peat soils for agricultural purposes, since the factors which determine the results of drainage, such as the botanical composition and degree of decomposition of the peat, the depth of the moor, and especially the rainfall, vary too much from one region to another. Accurate investigation of *shrinkage phenomena* is however of great and general importance. These become particularly marked on reclaiming deep moors which had previously little, if any, drainage. There is at present no reasonably reliable means of predicting the extent of this shrinkage.

## VIII. Liming and manuring of peat soils.

Much valuable information is available on the liming and manuring of the different peat soils. Nevertheless there are important problems still to be solved in this connexion. The following questions should be placed in the forefront of the investigations:

1. The lime- and manure-requirements of the various types of moor and peat, both for arable and grassland farming.

2. What is the cause of the frequently observed decline in yields on the older meadows on fen soils, and how can it be effectively checked?

3. It is, moreover, important to clarify still further the role of supplementary fertilizers (Copper, Boron, Manganese, etc.) on the soil and on crop yield under the most diverse conditions.

<sup>1)</sup> Raised mosses and transitional peatlands can also change to soligenic formations getting water from surrounding shelving land besides by direct precipitations.

**EXKURSIONEN**

**EXCURSIONS -- EXCURSIONS**

Mittwoch, den 4. August 1937.

*Exkursion im Kanton Zürich.*

- 7.00: Abfahrt im Autobus von der Terrasse vor der E. T. H. über Höngg—Regensdorf—Dänikon ins Meliorationsgebiet des Furttals.  
7.30: Ankunft. Besichtigung der Melioration.  
8.15: Abfahrt über Buchs—Adlikon—Katzenrüti—Rümlang in das Gebiet der Melioration Rümlang—Oberglatt.  
8.45: Besichtigung der Melioration und des Rohrpflugs von Prof. Dr. Janert.  
10.30: Abfahrt über Niederglatt—Bülach—Eglisau nach Rafz.  
11.00: Ankunft in Rafz. Besichtigung eines Bodenprofils.  
11.20: Abfahrt über Rüdlingen nach Flaach.  
11.40: Besichtigung der Melioration des Flaachtals und von Bodenprofilen.  
12.00: Abfahrt über Ellikon a. Rh. nach Rheinau.  
12.30—15.00: Mittagessen in der Anstalt Rheinau.  
15.00: Abfahrt nach Marthalen.  
15.15: Ankunft in Marthalen. Besichtigung der Bewässerungsanlagen.  
15.30: Abfahrt nach Oerlingen.  
15.45: Ankunft in Oerlingen. Besichtigung der Melioration des Oerlinger Weihers.  
16.15: Abfahrt nach Wülflingen.  
17.30: Ankunft in Wülflingen, Landwirtschaftliche Schule.  
19.00: Abfahrt nach Zürich.  
20.00: Ankunft in Zürich.

Donnerstag, den 5. August 1937.

*Exkursion im Kanton Bern.*

- 10.32: Abfahrt des Sonderzugs von Zürich.  
11.02: Brugg an. Besichtigung des Werks Brugg der A.-G. Hunziker & Cie., Baustofffabriken; Mittagessen, angeboten von der Firma.  
13.30: Abfahrt des Sonderzugs in Brugg über Bern nach Uetendorf.  
14.46: Uetendorf an. Besichtigung verschiedener Meliorationsarbeiten bezgl. Bodeneinwirkung auf Baustoffe, namentlich auf Zementrohre, in der Nähe von Uetendorf-Limpachmoos, Uebeschisee, Amsoldingensee, Zwieselberg, Kanderdelta-Spiez.  
Besichtigung der Fabrikations- und Imprägnationswerkstätten der Kanderkies A.-G. bei Thun; Imbiß, angeboten von der Firma.  
17.45: Abfahrt des Sonderzugs in Spiez über Brig nach Siders.  
19.17: Siders an.  
20.04: Montana-Vermala an. Bezug der Hotels.

Freitag, den 6. August 1937.

*Exkursion im Kanton Wallis.*

- 7.30: Besichtigung des Bisse (Wasserfuhr) d'Huyton bei Montana.
- 11.09: Montana ab über Siders nach Sitten.
- 12.15: Sitten an. Mittagessen im Hôtel de la Paix. Nachmittags Besichtigung der Entwässerungsanlagen in der Gegend zwischen Sitten und Martigny, der Beregnungsanlage des Weinguts «Grand-Brûlé» in Leytron und der Untergrundbewässerung durch Rückstau in der Gegend von Sarvaz, Saillon und Fully.
- 17.30: Nachtessen in Martigny, Hotel Kluser.
- 19.19: Martigny ab.
- 20.38: Lausanne an. Bezug der Hotels.

Samedi, 7 août 1937.

*Excursion dans le Canton de Vaud.*

- 7.30: Départ en autocar de Lausanne, Place de la gare centrale.
- 8.10: Arrivée à Fey. Allocution par M. le Conseiller d'Etat Dr. *F. Porchet*. Bref exposé technique sur les travaux d'améliorations foncières exécutés sur le territoire des communes de Fey et Sugnens, par M. *Schwarz*, ingénieur, chef du Service vaudois des améliorations foncières.
- 9.00: Départ pour Suchy.
- 9.30: Arrivée au Signal de Suchy. Exposé de M. le Professeur Dr. *Cosandey*, sur la formation des marais de l'Orbe.
- 9.50: Départ pour la carrière d'Orbe.
- 10.00: Brèves communications sur les travaux exécutés dans cette plaine, par MM. *Schwarz* et *Petitpierre*, ingénieurs, et *Fontannaz*, Directeur des Etablissements de détention de la plaine de l'Orbe. Visite des terrains tourbeux de la plaine.
- 12.00: Départ pour Cossonay.
- 12.30: Dîner à Cossonay.
- 14.30: Départ pour le vignoble de la Côte. Territoires remaniés et améliorés de Féchy—Bougy—Perroy.
- 15.30: Arrivée à Luins. Bref exposé sur les travaux d'améliorations foncières du vignoble, par M. *Petitpierre*, ingénieur. Visite du vignoble de Luins.
- 18.30: Départ pour Lausanne par la grande route longeant le lac Léman.
- 19.30: Arrivée à Lausanne.

## Kurzberichte über die Exkursionen

Von

Prof. Dr. H. Janert, Leipzig, Deutschland.

Die erste Exkursion am Mittwoch, den 4. August, führte in den Kanton Zürich. Unter der umsichtigen Leitung der Herren E. Keller und Oberst Zollikofer, ständig unterstützt und ergänzt durch die sehr aufschlußreichen bodenkundlichen Ausführungen von Herrn



Abb. 1

Prof. Dr. Pallmann erläutert die bodenkundlichen Verhältnisse des Furttales. (Aufn. Fauser)

Prof. Dr. Pallmann (Abb. 1) wurden den Teilnehmern mehrere außerordentlich interessante Meliorationsarbeiten gezeigt. Zunächst die Melioration des Furttales, einer in früheren Zeiten verheerenden Überschwemmungen ausgesetzten, zum großen Teil vermoorten Fläche, die jetzt sorgfältig entwässert, aufgeschlossen und besiedelt als wertvolles Kulturland genutzt wird.

Sodann wurde das Meliorationsgebiet Rümli-Oberglatt besucht und bei dieser Gelegenheit der neue Rohrpflug von Prof. Dr. Janert, Leipzig (Abb. 2), sowie eine Regenanlage der Bauart Bucher-Guyer vorgeführt.

Nach kurzem Aufenthalt in Rafz, wo die kürzlich durchgeführte Güterzusammenlegung und insbesondere die interessanten Bodenverhältnisse erläutert wurden, ging die Fahrt in die Rheinebene. Der Bau des Stauwehres am Rhein bei Eglisau hat Rückstauschäden in der Gegend von Flaach verursacht, so daß mehrere Schöpfwerke für die künstliche Vorflutbeschaffung errichtet werden mußten.

An dem herrlich gelegenen Kloster Rheinau vorbei wurde die Anstalt Rheinau erreicht, deren Leitung die Exkursionsteilnehmer in äußerst herzlicher und bekömmlicher Weise bewirtete.

Nach dem Essen wurde die nahegelegene Bewässerungsanlage Marthalen besichtigt, die wegen ihrer Eigenart besonders interessant war. Ein ansehnlicher Bach mit bis zu 4 m<sup>3</sup> Wasserführung wird dort auf einem nur 57,6 ha großen Gelände restlos verrieselt, ohne

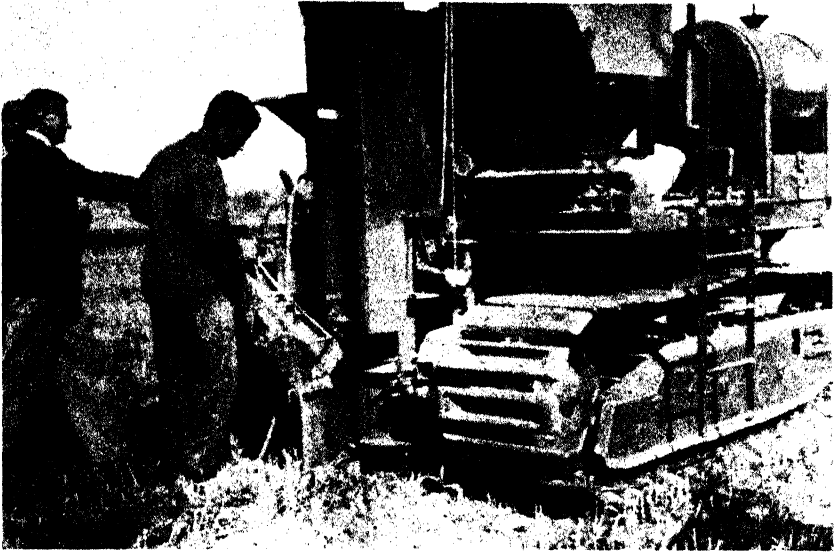


Abb. 2  
Rückansicht des Rohrflugs von Prof. Dr. Junert. (Aufn. Fluck)

daß ein oberflächlicher Abfluß zum Rhein vorhanden ist. Auch Entwässerungsanlagen sind nicht erforderlich, weil das Wasser durch den Kiesuntergrund versickert.

Anschließend wurde noch die Melioration des Oerlinger Weihers (Abb. 3) gezeigt und deren große wirtschaftliche Bedeutung für die kleinbäuerlichen Betriebe in Oerlingen sehr anschaulich erläutert.

Den Abschluß der Exkursion bildete ein Besuch der Landwirtschaftlichen Schule Wülflingen mit einem sehr interessanten Lichtbildervortrag des Direktors und einem von den Schülerinnen freundlich dargebotenen Imbiß.

Die *große Exkursion* vom 5. und 6. August durch die Kantone Bern und Wallis führte in die gewaltige Bergwelt der Zentralalpen, und die prächtigen Landschaftsbilder, die sich während der ganzen Fahrt dem Auge darboten, werden allen Teilnehmern unvergeßlich bleiben. Daneben ist aber auch die Kulturtechnik dank der bewährten Führung des Herrn Kulturingenieur *E. Ramser*, Bern, nicht zu kurz gekommen.

In Brugg wurde zunächst das Betonwerk der *Hunziker A.-G.* besichtigt, wo besonders die Herstellung der Schleuderbetonrohre interessierte. Da für die Fahrt ein ausgezeichneter Schnelltriebwagen zur Verfügung stand, wurde bald die Hauptstadt Bern und dann der Thunersee erreicht. Dort wurde eine Omnibusfahrt eingeschaltet, um die Meliorationen bei Uetendorf und Amsoldingen sowie den Kanderdurchbruch und schließlich die Anlagen der Kanderkies A.-G. zu besichtigen.





Abb. 3  
Aussprache an einer Probegrube im Oerlinger Weiher. (Aufn. Fauser)

Es folgte dann der landschaftlich eindrucksvollste Teil der Fahrt das Kandertal aufwärts und weiter durch den Lötschbergtunnel und durch das Lötschental in das weite Rhonetal bis Brig und talabwärts nach Siders. Dort führte die Seilbahn hinauf nach Montana-Vermala zu den prächtig gelegenen Quartieren.

Am nächsten Tage wurde zunächst eine alte Wasserfuhr in der Nähe von Montana, der «Bisse d'Huyton» besichtigt, und die Kollegen aus dem Flachland bekamen bei dieser Gelegenheit einen Begriff von den gro-



Abb. 4  
Der Bisse d'Huyton überquert eine Schlucht. (Aufn. Zunker)

ßen Schwierigkeiten, unter denen der Kultur-Ingenieur im Hochgebirge zu arbeitengezwungen ist (Abb.4). Die zum Teil nicht ganz ungefährlichen Klettereien entlang der Wasserfuhr waren für die Teilnehmer (und Teilnehmerinnen!) der jüngeren Generation natürlich ein Hauptvergnügen.

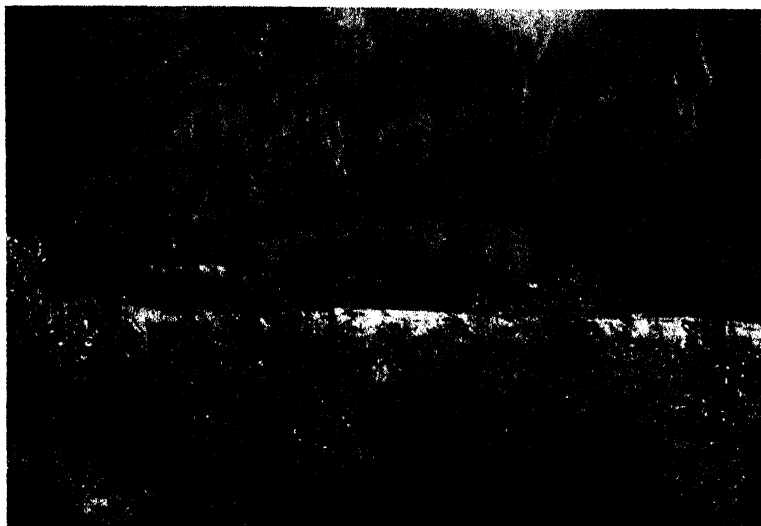


Abb. 5  
Der Schuttkegel der Losentze im Urzustand. (Aufn. Fauser)



Abb. 6  
Das auf dem Schuttkegel der Losentze ange-  
legte Weingut Grand-Brûlé. (Aufn. Fauser)

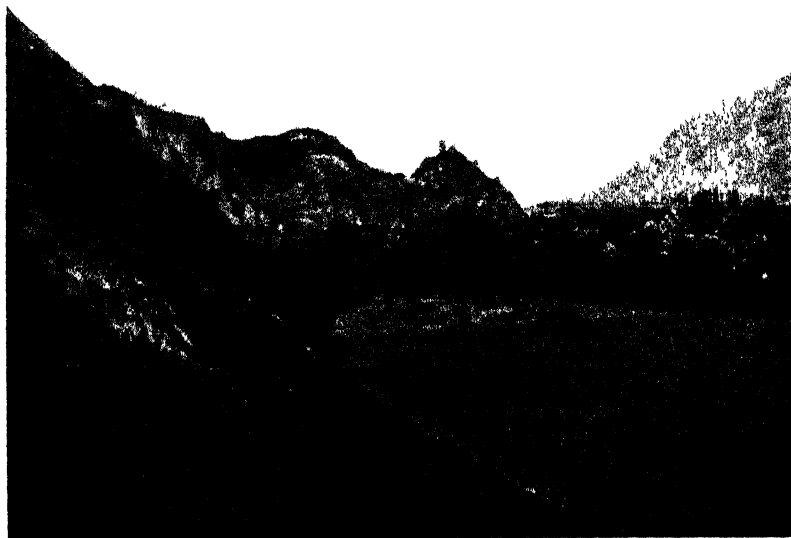


Abb. 7  
Wein- und Obstkulturen bei Sarvaz (Aufn. Fauser)

Von den Meliorationen im Kanton Wallis wurden unter Führung von Herrn Cheing. *H. Müller*, Sitten, außerdem noch einige Bewässerungen im Rhonetal besucht, so die Beregnung (System *Periot*) der Weingärten von Grand-Brûle bei Leytron (Abb. 5 und 6) (mit Weinprobe!) und die Einstaubewässerungen in der Nahe von Sillon und Fully. Besonders überzeugend wirkten vorzügliche Obstkulturen, die hier auf früherem Unland erzielt worden waren (Abb. 7).



Abb. 8  
Prof. Diserens an einem Bodenprofil in Fey (Aufn. Fauser)



Abb. 9  
Die Ebene der Orle vom Signal de Suchy aus. (Aufn. Fauser)



Abb. 10  
Das Weingut Luins an der Côte vaudoise. (Aufn. Fauser)

Nach einer genußreichen Fahrt durch das Rhonetal und am Genfersee entlang wurde das Ziel dieser großartig gelungenen Exkursion, Lausanne, erreicht.

Die Exkursion am Sonnabend, den 7. August, durch den Kanton Waadt stand unter der Leitung des Herrn Chefingenieur *M. Schwarz*, Lausanne. Ein sehr umfangreiches Programm (mit verschiedenen Einlagen) war zu bewältigen, so daß hier nur die wichtigsten Stationen erwähnt sein mögen.

Die Meliorationen in den Fluren von Fey und Sugnens waren insofern von besonderem Interesse, als auch neuzeitliche Weideanlagen gezeigt wurden (Abb. 8). Im Tal der Orbe wurden die ausgedehnten und großzügig angelegten Entwässerungseinrichtungen besichtigt (Abb. 9). Die Entwässerung wird hauptsächlich durch die großen Parallelkanäle im Osten und Westen gewährleistet, während dazwischen Dräne mit ungewöhnlich weiten Abständen und sehr großen Tiefen angeordnet sind. Die dort ausgeführten Grundwasserstandsbeobachtungen sowie die Feldbestände wiesen darauf hin, daß die Frage der Zweckmäßigkeit der großen Dräntiefen und Dränentfernungen noch einer weiteren Klärung bedarf.

Zum Schluß wurden interessante Meliorationen von Weinbergen an der Côte vaudoise (Abb. 10) mit Flurbereinigung, Zuwegung und Entwässerung gezeigt.

**Ansprache des Präsidenten der 6. Kommission**  
**Oberbaurat Otto Fauser**  
**beim Besuch des Weinguts Luins an der Côte vaudoise**

Meine sehr verehrten Damen und Herren!

Wir sind am Ende der herrlichen Exkursionen angelangt, die wir durch das an kulturtechnischen Meisterwerken und an Naturschönheiten gleich reiche Schweizerland machen durften. Da ist es denn für mich als den Präsidenten der 6. Kommission der Internationalen Bodenkundlichen Gesellschaft eine angenehme Pflicht, all denjenigen den herzlichsten Dank auszusprechen, welche die Exkursionen so lehr- und genußreich gestaltet haben.

Vor allem gilt unser Dank dem Vorsitzenden des schweizerischen Vorbereitungsausschusses, Herrn Prof. *Diserens*, sowie dem Präsidenten des Schweizerischen Kulturingenieurvereins, Herrn *Ramser*, für die wirklich mustergültige Vorbereitung und Durchführung der Exkursionen. Sie haben es verstanden, den wissenschaftlichen Teil der Exkursionen dadurch äußerst angeregt und wertvoll zu gestalten, daß sie uns das Gesehene überall durch die ersten Sachverständigen erläutern ließen und uns neben dem gedruckten Programm ein außerordentlich wertvolles Plan- und Kartenmaterial vermittelt haben.

Im einzelnen gebührt unser Dank den Vorständen der Meliorationsämter der Kantone Zürich, Wallis und Waadt, nämlich den Herren *Keller*, *Müller* und *Schwarz*, sowie Herrn *Zollikofer* vom Meliorationsamt Zürich, Herrn *Petitpierre* vom Meliorationsamt Lausanne, ferner Herrn Prof. Dr. *Pallmann* von der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich, Herrn Dr. *Beck* in Thun und Herrn Prof. Dr. *Cosandey* von der Universität Lausanne, die uns auf den Exkursionen wertvolle kulturtechnische, geologische und bodenkundliche Erläuterungen gegeben haben.

Mit großem Interesse haben wir in der Land- und Hauswirtschaftsschule Wülflingen dem Lichtbildervortrag des Herrn Verwalters *Leemann* und dem lieblichen Gesange seiner Schülerinnen gelauscht. Den Herren Verwalter *Naeff* in Rheinau, *Schmid* in Grand-Brûlé und *Fontannaz* in Orbe sind wir für ihre praktischen Erläuterungen zu großem Dank verpflichtet.

Beim Besuch der Hunziker A.-G. in Brugg und der Kanderkies A.-G. in Thun hatten wir Gelegenheit, uns unter der lebenswürdigen Führung ihrer Direktoren, der Herren *Hunziker* und *Schmid*, von dem hohen Stande der schweizerischen Zementrohrindustrie zu überzeugen.

Doch nicht nur für das geistige, sondern auch für das leibliche Wohl wurde aufs beste gesorgt. Wir durften wiederholt Gäste des

Kantons und der Stadt Zürich und des Kantons Waadt sein, die beiden Firmen haben uns gastlich bewirtet und die Kantone Wallis und Waadt kredenzt uns ihre auserlesensten Weine.

Es war wirklich ein Meisterwerk des Vorbereitungsausschusses, die Exkursionen so zu führen, daß wir dabei zugleich auch die hohen Schönheiten des Schweizerlandes genießen durften.

Mit besonderem Danke muß ich endlich auch des Herrn *Strebel* vom Meliorationsamt Zürich gedenken, der unermüdlich und stets hilfsbereit die Reisegesellschaft betreute.

Die Exkursionen dieser Tagung werden uns allen zeitlebens unvergeßlich bleiben.

## REDNERLISTE

### LISTE DES ORATEURS — LIST OF SPEAKERS

Bäschlin . . . . .	Seite	497
Baumann . . . . .	»	569
Blanc . . . . .	»	517, 537, 562, 569, 576
Brüne . . . . .	»	546, 549, 551, 556, 561, 562
Burgevin . . . . .	»	509
Diserens . . . . .	»	492, 509, 563
Donat . . . . .	»	510
Fausser . . . . .	»	491, 503, 505, 509, 526, 544, 568, 569, 571, 572, 578, 601
Freckmann . . . . .	»	516, 550, 555, 561, 563
Giesecke . . . . .	»	561
Hénin . . . . .	»	536, 569
Hissink . . . . .	»	534, 562, 569
Janert . . . . .	»	523
Köhne . . . . .	»	535
Laferrière . . . . .	»	523, 542
Lundblad . . . . .	»	563
Mitscherlich . . . . .	»	516, 536
Oehler . . . . .	»	535
Ramsauer . . . . .	»	506, 509, 562
Ramser . . . . .	»	500, 577
Rinne . . . . .	»	550, 560, 562, 563
Russell E. W. . . . .	»	536, 568
Russell J. L. . . . .	»	565
Schildknecht . . . . .	»	511, 517, 524
Schucht . . . . .	»	501, 572, 574
Scott Blair . . . . .	»	536
Strüby . . . . .	»	494
Zavadil . . . . .	»	527
Zollikofer . . . . .	»	569
Zunker . . . . .	»	509, 516, 526, 535, 542, 544, 561, 571, 572





# **Indian Agricultural Research Institute (Pusa)**

**LIBRARY, NEW DELHI-110012**

This book can be issued on or before .....

<b>Return Date</b>	<b>Return Date</b>